3

DE L'ÉTAT
DE LA FABRICATION
DU FER,

ET

DE L'AVENIR DES FORGES

EN FRANCE ET SUR LE CONTINENT DE L'EUROPE;

PAR M. GUENYVEAU,

INGÉNIEUR EN CHEF ET PROFESSEUR A L'ÉCOLE ROYALE DES MINES DE PARIS.

PARIS,

CHEZ CARILIAN-GOEURY,

LIBRAIRE DES CORPS ROYAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, nº 41.

1838.

Extrait du Tome XII des Annales des Mines.

PARIS. — IMPRIMERIE ET FONDERIE DE FAIN,
Rue Racine, n. 4, place de l'Odéon.

DE L'ÉTAT

DE LA FABRICATION DU FER,

ET

DE L'AVENIR DES FORGES.

Au point où se trouve actuellement (1) l'industrie métallurgique du fer, on doit distinguer différentes méthodes de traitement employées dans les diverses contrées, et qui, le plus ordinairement, ont des rapports nécessaires avec les éléments de la production de ce métal, et surtout avec la nature et le prix des combustibles dans les localités où les usines sont établies : mais en même temps, et par une conséquence à laquelle jusqu'ici on n'a pu se soustraire, la qualité et par suite les prix des fers fabriqués, dépendent beaucoup des procédés employés pour les préparer, bien que la nature des minerais et des combustibles dont on fait usage, conservent encore une grande influence dans la plupart des cas.

Nous nous proposons de faire connaître quelles sont, parmi ces méthodes, celles qui sont le plus particulièrement applicables dans diverses localités; et, dans les circonstances actuelles, les améliorations qu'elles peuvent ou doivent éprou-

(1) En 1837, et d'après ce que j'ai observé en France, en Belgique et en Allemagne, dans des voyages que j'ai faits en 1834, 1836 et 1837, par ordre de M. le directeur général des ponts et chaussées et des mines.

ver, et qui doivent influer le plus sur *l'avenir* des forges.

But et résultat, dans l'intérêt des maîtres de forge.

Le but et le résultat de cet examen importent beaucoup aux propriétaires et directeurs des usines à fer, en ce sens qu'ils y trouveront une annonce des changements que doivent subir tôt ou tard les procédés de fabrication, la situation même de certaines forges, et surtout une direction utile pour opérer à temps les modifications dans les procédés, que la marche et les progrès de l'industrie rendent inévitables, sous peine d'une décadence et peut-être d'une ruine complète pour ceux qui s'obstineraient à vouloir lutter contre la nature des choses.

Il ne faut pas se le dissimuler; nous sommes à une époque de changements importants dans l'industrie du fer : l'énorme consommation qu'on fait annuellement de ce métal; l'emploi toujours croissant du combustible végétal, en opposition avec la diminution également progressive des forêts; enfin, la nécessité d'abaisser les prix de fabrication; tout cela doit faire multiplier les essais et les efforts de toute espèce pour perfectionner la fabrication et pour la rendre plus économique, relativement au combustible consommé; on arrivera nécessairement à créer des procédés nouveaux qui amèneront des changements inévitables et très-importants (dont on aperçoit déjà des indices bien prononcés) dans les avantages relatifs des diverses usines à fer, en raison de leur situation, des combustibles et des forces motrices dont elles font usage.

Je demande qu'on me permette, avant d'entrer en matière, de faire remarquer que si tout ce qui intéresse l'avenir de l'industrie ne se mani-

feste pas immédiatement aux hommes qui s'occupent de l'exploitation des usines, c'est parce qu'ils ne peuvent voir l'ensemble des établissements métallurgiques, pour en saisir les rapports; c'est parce qu'ils n'ont pas le loisir nécessaire pour parcourir un grand nombre de provinces et pour y observer l'état de l'industrie, ses développements, ses besoins, ses craintes et ses espérances.

Mais ces vues d'ensemble appartiennent évidemment aux ingénieurs de l'administration, qui sont convenablement placés pour cela; je crois donc faire une chose utile, et, en même temps remplir un devoir, en acceptant cette tâche, et en publiant des recherches et des considérations déduites des nombreuses observations faites dans mes voyages, et qui, je l'espère, ne seront pas indignes de l'attention de tous ceux qui s'occupent des progrès de la fabrication du fer.

Ce que peuvent et doivent faire les ingénieurs du corps des mines.

Les faits que nous rapporterons, et surtout les conséquences que nous en voulons déduire, s'appliquent à la totalité des usines de l'Europe, mais bien plus particulièrement à celles de la France; elles seraient même dépourvues de justesse comme d'intérêt pour la Grande-Bretagne, dont les établissements, ainsi que les procédés qu'on y pratique, forment une classe à part parmi ceux que nous offre la technologie générale du monde.

Deux sources de perfectionnement dans la fabrication du fer se présentent naturellement: on peut espérer de voir créer de nouveaux procédés, ainsi qu'il est arrivé en Angleterre, dans le dernier siècle; ou du moins on peut voir employer de nou-

1er genre de perfectionnement.

veaux agents, soit de séparation pour des substances nuisibles, soit de combinaison.

Tel serait, pour l'affinage de la fonte, l'emploi de la vapeur d'eau, de l'air préalablement échauffé, de l'oxide de manganèse ou du nitre, du sel marin, dans l'intérieur des fours de puddlage.

Mais jusqu'ici les essais qui portent sur le principe même des opérations, et sans doute parce qu'ils sont les plus difficiles à bien faire, et parce qu'ils offrent le moins de chances de succès immédiats, ont été peu suivis, et même presque toujours repoussés par les fabricants.

L'administration doit se charger de faire les essais relatifs à ce 1er genre de recherches.

Ce serait surtout pour cette classe de recherches que les secours directs du gouvernement sont à réclamer et doivent être accordés largement; car nous sommes convaincus que, d'ici à un certain nombre d'années, les procédés de fabrication devront être, si ce n'est complétement changés, du moins considérablement modifiés, soit pour le traitement des minerais ou la fabrication de la fonte, soit, et plus vraisemblablement et plus prochainement encore, pour la fabrication du fer en barres.

Les idées que l'on peut avoir à cet égard, et les aperçus que la réflexion peut produire, ne sauraient avoir d'influence notable sur la pratique, tant qu'ils ne seront pas appuyés et corroborés par des expériences positives.

Or, il est des essais, des recherches expérimentales, qui, en raison des connaissances qu'elles supposent, du temps, des soins et des dépenses qu'elles exigent, et enfin de l'incertitude d'un résultat avantageux sous le rapport financier, ne peuvent être entreprises que pour le compte et sous la

direction du gouvernement, et dans des usines appartenant à l'état, et travaillant en régie (1).

L'autre genre de perfectionnement, ou plutôt d'amélioration, résultera des modifications moins importantes, des changements moins essentiels qu'on introduira, et que l'on cherche déjà à introduire, dans les procédés connus et suivis depuis un laps de temps plus ou moins long : ils consistent principalement dans un meilleur emploi de la chaleur et du combustible qui la produit, ce qui est, comme nous l'avons dit en commençant, un des points les plus dignes d'attention en ce moment; la substitution d'un combustible à un autre, dans quelques opérations où la nature de ces substances n'a pas d'influence nuisible, est encore un moyen d'amélioration, si ce n'est en produisant une économie absolue de la matière combustible, du moins en permettant de réserver le plus rare, le plus cher ou le plus précieux, pour des opérations où il est encore indispensable.

2e genre de perfectionnement.

D'ailleurs on est évidemment encore bien loin de la limite des économies que l'on peut faire sur le combustible, et la masse de ce qui en est perdu et brûlé annuellement, sans autre cause que l'imperfection des appareils et de la manière dont la chaleur est appliquée, est énorme, et dépasse sans doute de beaucoup la quantité qui serait strictement nécessaire pour obtenir les mêmes effets, ou donner les mêmes produits.

Les perfectionnements relatifs à l'emploi de la chaleur, et à l'économie du combustible et des forces motrices, sont les plus urgents et les plus faciles à opérer.

Il y a visiblement beaucoup à espérer de l'introduction de nouveaux appareils, du perfectionnement des anciens, et de tous les essais auxquels

(1) C'est dans cette classe que doivent être rangées les vues que j'ai proposées dans mes *Nouveaux procédés pour fabriquer la fonte et le fer.*

on se livre maintenant dans diverses usines du royaume, et en Allemagne. On observe même déjà des résultats avantageux dus à des dispositions nouvelles, ingénieuses et bien entendues, qu'il faudrait voir se propager dans les forges du centre et de l'ouest de la France, et nous désirerions que la présente publication pût y contribuer efficacement.

Les moyens plus ou moins simples et avantageux de tirer parti *des combustibles* et *des forces motrices* à l'usage des usines à fer (principalement des cours d'eau), sont les deux points importants qui doivent attirer l'attention des maîtres de forge, parce que ce sont les deux objets qui laissent le plus à désirer dans les anciennes usines, et sur lesquels les améliorations à faire sont le moins coûteuses et du succès le plus assuré.

Pour ce 2e genre de perfectionnement, l'administration peut se borner à accélérer la propagation des meilleurs procédés.

Le second genre de perfectionnement, dont nous venons de parler, est le mieux compris et le plus généralement suivi par les propriétaires d'usines, et, en raison de cela, le gouvernement peut se borner à faciliter et à rendre plus prompte la propagation des procédés reconnus pour être les meilleurs; mais il doit accepter cette tâche, et faire quelque chose dans cette vue, car il en est dont l'avantage n'est point contesté, dont l'application, à de certaines localités, n'éprouverait aucune difficulté, et procurerait des bénéfices assurés, et qui cependant restent comme cantonnés dans les contrées qui les ont vus naître, et ne sont même qu'imparfaitement connus ailleurs; j'en donnerai dans la suite plusieurs exemples.

Ce qu'auront à faire les ingénieurs en station auprès des usines à fer.

C'est ici surtout que le rôle de l'administration est tout tracé, et que les ingénieurs peuvent rendre d'éminents services à l'industrie, en indi-

quant les cas où les divers procédés sont applicables avec le plus d'avantages; en montrant les moyens de les employer, et surtout en leur faisant subir les modifications que les circonstances locales, ou les éléments dont on dispose, peuvent rendre nécessaires, et sans lesquelles ils demeureraient stériles ou même seraient repoussés, comme nous le voyons pour tant de bonnes choses mal appliquées.

Mais avant d'appeler le concours direct de l'administration et des ingénieurs, il faut faire connaître quels sont les améliorations et les procédés dont il est le plus urgent de s'occuper; il faut procurer à ceux-ci des descriptions détaillées des opérations, afin qu'ils puissent d'abord se former une opinion bien réfléchie de la nature des procédés qu'on leur recommande; et ensuite, pour les proposer ou même les faire exécuter, sans hésitation comme sans incertitudes, il faut qu'ils aient en eux-mêmes, et que les autres aient en eux, cette confiance qui est en même temps la cause et la preuve des services qu'ils peuvent rendre à l'industrie minérale en France.

Tel est le but principal de ce mémoire et de quelques publications qui le suivront, et dont j'indiquerai l'objet à mesure que l'ordre des matières le rendra convenable.

L'exposé qui va suivre se rapporte au second genre de perfectionnements que nous avons distingués, et principalement à ceux qui ont pour résultat l'économie du combustible, ou un meilleur emploi de la chaleur; enfin à l'emploi des différents combustibles à de certaines opérations.

Nous ajouterons tout de suite, et pour n'y plus revenir, quelques considérations sur ce qui arri-

vera lorsque les procédés, dont nous avons connaissance actuellement, se seront étendus et propagés comme ils sont appelés à le faire, et auront produit toutes leurs conséquences.

Nous verrons qu'il en doit résulter, un peu plus tôt ou un peu plus tard, un changement (complet en certains cas) dans les rapports existants entre les diverses usines à fer du royaume, touchant leurs avantages, la quantité et la qualité de leurs produits, les *prix de revient* de ces derniers, etc. : cela est surtout évident et inévitable pour celles qui consomment actuellement du charbon de bois.

Conséquences des perfectionnements relatifs à l'emploi du combustible, supposés généralement adoptés.

De sorte que, de l'adoption générale des perfectionnements dont il nous reste à parler, il s'ensuivra, comme conséquence, 1° un changement notable (mais qui ne peut cependant s'effectuer en peu de temps), dans la situation actuelle de la plupart de ces usines; 2° une diminution considérable dans la quantité de combustible végétal consommé annuellement pour fabriquer du fer, ou bien, ce qui doit être considéré comme également avantageux à la société, une beaucoup plus grande masse de métal sera fabriquée avec le combustible qui se brûle aujourd'hui dans les usines à fer.

Ainsi, l'une de ces conséquences importe à l'intérêt particulier des maîtres de forge, en leur indiquant ce qui doit arriver, et comment ils pourront soutenir la concurrence des usines qui prendront les situations devenues les plus favorables, en raison des nouveaux procédés qui s'annoncent.

La seconde de ces conséquences importe à l'intérêt général, en ce qui concerne l'économie du

combustible, ou une plus grande quantité de fer fabriquée annuellement.

Considérations qui intéressent l'administration générale des mines et usines du royaume.

Enfin, ce qui ne saurait être indifférent au ministère du commerce et de l'industrie, non plus qu'à l'administration spéciale des mines et usines du royaume, c'est ce qui résulte de l'exposé qui va suivre, et où l'on trouvera la démonstration de cette assertion, que *les maîtres de forge sont encore loin d'avoir employé tous les moyens connus, et pratiqués avec succès, pour épargner le combustible dans les opérations qu'ils pratiquent pour fabriquer la fonte et le fer en barres.*

Or, quelle meilleure réponse peut-on faire aux plaintes qu'on entend articuler tous les jours sur les nouvelles usines qu'on autorise, malgré la rareté toujours croissante du combustible végétal?

Comment, d'après des changements prévus dans la situation des usines à fer, et qui doivent s'opérer pour le plus grand avantage des consommateurs, c'est-à-dire de la société, irait-on y mettre des entraves ou des obstacles insurmontables, au profit de quelques industriels qui se refuseraient à suivre les progrès de l'art métallurgique? Cela ne saurait être, et les demandes des immobiles ne doivent pas être écoutées.

Mais, pour être juste, l'administration ne doit pas se contenter de prouver la possibilité de diminuer la consommation du combustible dans la fabrication du fer, elle doit en mettre les moyens à la portée des maîtres de forge, elle doit joindre à ses indications, à ses recommandations, quelque chose de plus positif, lorsque cela est possible, comme dans le cas dont il s'agit, et c'est de donner des descriptions des procédés, et de publier et de répandre dans les usines la connaissance des

résultats économiques des plus importants, ainsi que nous allons le faire pour quelques-uns, dans ce mémoire, et l'annoncer pour d'autres.

La fabrication du fer en barres, du fer malléable et soudable (si l'on en excepte le traitement direct des minerais pour en obtenir ce produit, et tel qu'il est pratiqué sur des minerais exceptionnels, en quelque sorte, dans les forges des Pyrénées (1) et de la Corse, etc.), résulte toujours de deux classes d'opérations fort distinctes, donnant deux produits différents, et qui ont l'un et l'autre des propriétés et des usages différents, ce sont la fonte de fer et le fer malléable.

L'un et l'autre présentent respectivement de grandes différences dont il serait à désirer que les causes fussent mieux connues qu'elles ne le sont, parce qu'elles ont une grande influence sur leurs propriétés utiles, et par conséquent sur leurs usages, sur leurs prix, etc. Mais en prenant les choses comme elles sont, et en s'aidant de l'expérience, on peut espérer d'arriver à bien connaître ces produits, et à les obtenir avec les qualités qu'on y recherche.

Si l'on considère le traitement des minerais de fer pour en obtenir de la fonte, on reconnaît d'abord que le procédé, la manière d'opérer, les appareils ou fourneaux dont on se sert, sont les mêmes partout, aux dimensions près, qui encore ne varient

(1) Nous ne nous en occuperons pas dans ce mémoire, non pas que ces usines soient sans importance, mais parce que le procédé de fabrication qu'on y pratique, extrêmement délicat de sa nature, pourrait ne pas se prêter aux modifications que nous indiquerons : d'ailleurs M. l'ingénieur François travaille avec succès à y introduire divers perfectionnements, dont quelques-uns sont déjà employés.

pas beaucoup; il y a aussi quelques différences en raison de la puissance des machines soufflantes, le plus souvent en rapport avec l'élévation de ces hauts-fourneaux.

Mais ce qu'il faut toujours distinguer, c'est l'espèce du combustible, végétal ou minéral, qu'on y consomme, et l'état dans lequel on le charge dans le fourneau, carbonisé ou dans son état naturel.

Les dimensions des fourneaux, la quantité d'air comprimé qu'on y lance, la masse du produit journalier qu'on obtient de chacun d'eux, tout cela varie avec l'espèce de combustible employé; et généralement les fourneaux où l'on brûle du coke ou de la houille sont les plus grands, et donnent le plus grand produit mensuel et annuel.

On sait que le charbon de bois et le coke, représentant le combustible végétal et le combustible minéral, sont presque les seuls usités jusqu'ici. Les lignites, la tourbe, celle-ci en nature, n'ont été employées que pour essai, et leurs charbons, trop peu cohérents, ne peuvent guère brûler utilement dans les hauts-fourneaux à fer.

Quel que soit l'état dans lequel on charge ces deux espèces de combustible dans les hauts-fourneaux, il existe toujours une différence notable dans les propriétés du produit qu'on obtient de chacun d'eux, même en fondant les mêmes minerais, et quoique l'aspect et le grain dans la cassure de la fonte soient les mêmes; quand il s'agit de fontes destinées au moulage, celle qui est produite avec le coke, et par une allure d'ailleurs convenable et ménagée à cet effet, est plus propre à être employée en seconde fusion; et celle formée en présence du charbon de bois, plus convenable au moulage en première fusion.

S'il s'agit de fonte destinée à la fabrication du fer en barres (dite fonte d'affinage ou *fonte de forge*), les différences qui dépendent de la nature du combustible employé, sont encore plus importantes, quoique souvent moins apparentes : les fontes obtenues avec le combustible végétal, donnent, par un affinage simple et immédiat, du fer de bonne qualité, tandis que les fontes au coke, malgré la complication des procédés d'affinage, exécutés d'ailleurs avec le combustible minéral, ne produisent que des fers d'une qualité de beaucoup inférieure à celle des autres fontes; il n'y a que leur prix, toujours bien moindre, surtout en Angleterre, et les besoins immenses de l'industrie, qui les fasse accepter en présence des autres : aussi la fabrication des fers, et surtout des fontes de forge au charbon de bois, augmente-t-elle tous les jours en France, au lieu de se restreindre, en face des procédés anglais, comme on pourrait le croire.

C'est à l'influence qu'exerce sur la qualité (la composition) des fontes et des fers, au moment de leur formation, le contact du combustible minéral, soit houille, soit coke, toujours plus ou moins sulfureux, qu'on attribue l'infériorité des fers fabriqués suivant les procédés anglais.

On distingue donc, dans le commerce, comme pour les divers usages auxquels on les emploie, des fers en barres (et il en est de même pour les fontes de forge) fabriqués avec le charbon de bois, et des fers fabriqués avec la houille (à l'état de coke ou l'état naturel); mais il existe en France surtout (et aussi, je crois, dans la Silésie prussienne) beaucoup de fers obtenus de l'affinage par la méthode anglaise, de fontes fabriquées avec du charbon de

bois : ce produit est généralement supérieur à tous les fers pour la fabrication desquels on n'a employé que du combustible minéral, mais il est aussi plus cher.

Cette fabrication mixte, qui donne naissance à un troisième genre de fer en barres, est fort répandue en Champagne, en Bourgogne, en Nivernais, dans les grandes usines de Fourchambaut, de Châtillon-sur-Seine, d'Abainville, ainsi que dans une foule d'autres moins considérables, où l'on pratique la méthode d'affinage dite *de Champagne*, dont nous parlerons fort en détail par la suite.

Celle-ci doit s'étendre encore dans la plupart des anciennes forges, parce que c'est jusqu'ici la meilleure combinaison que l'on ait imaginée pour employer, et pour faire concourir à la fabrication d'un fer de bonne qualité, les deux espèces de combustibles, végétal et minéral : c'est un moyen, sinon d'épargner le premier, du moins de le réserver pour fabriquer de la fonte, soit pour le moulage en première fusion, soit pour l'affinage, afin de produire de bons fers, encore fort demandés pour une foule d'ouvrages délicats, comme pour toutes les manufactures d'armes, les tôles à fer-blanc, etc.

Nous allons passer en revue les divers procédés employés pour fabriquer de la fonte, soit pour le moulage, soit pour la forge, et avec toute espèce de combustible, et nous traiterons ensuite de l'affinage des fontes, et des diverses méthodes à l'aide desquelles on fabrique du fer en barres de différentes qualités.

Nous nous proposons d'indiquer pour chaque espèce de produits, ou pour chaque mode de fa-

brication et à mesure qu'ils se présenteront, les moyens de perfectionnement ou d'amélioration qui sont connus ou pratiqués dans les nombreuses usines que nous avons visitées, ou sur lesquelles nous avons pu nous procurer des renseignements suffisants; nous nous étendrons principalement sur la description de ceux qui ont pour but d'amener une diminution dans la quantité de combustible végétal ou minéral, consommé annuellement dans les usines à fer du royaume.

PREMIÈRE PARTIE.

DE LA FABRICATION DES DIVERSES ESPÈCES DE FONTES.

Deux espèces de combustibles sont employés à fondre les minerais de fer, et chacun d'eux peut être chargé dans les hauts-fourneaux en différents états; nous allons d'abord supposer qu'ils ont été carbonisés, c'est-à-dire que l'on se sert de charbon de bois ou de coke, nous réservant de traiter ensuite de l'emploi des combustibles dans leur état naturel pour fabriquer la fonte de fer.

Nous aurons à distinguer, sous le rapport des circonstances de leur fabrication, comme des consommations auxquelles elles donnent lieu, *les fontes de moulage* et *les fontes d'affinage*, dites *fontes de forge*.

Les propriétés distinctives, les qualités et les usages de la fonte, dépendent en général des circonstances dans lesquelles elle a été formée, c'est-à-dire d'abord de la conduite du fourneau, ensuite de la nature du combustible, puis de la composition des minerais employés.

On s'applique, dans les usines, à fabriquer telle ou telle espèce de fonte, suivant les avantages que l'on y trouve ou que l'on espère y trouver, et, eu égard aux matières premières dont on dispose, à leurs prix, à leurs qualités, etc.; enfin cela dépend aussi des débouchés offerts par la situation de l'établissement.

Quelques fourneaux travaillent tantôt en fonte de moulage, tantôt en fonte de forge, et font alors varier, en raison de cela, les éléments (minerais et combustible) de la fabrication, soit dans leur nature (1), soit dans leurs proportions; quelques-uns se bornent à produire constamment l'une de ces fontes.

Parmi les fontes de moulage, on distingue celles qui doivent et peuvent être employées en première et deuxième fusion; quant aux fontes de forge, on cherche à les fabriquer avec les matières premières les moins coûteuses, en leur conservant toutefois les qualités essentielles de cette sorte de produit; c'est-à-dire une certaine facilité à s'affiner, tout en produisant du fer en barres de la meilleure qualité possible, eu égard à l'espèce et à la quantité du combustible consommé, par tonne de métal.

A. Influence de la nature du combustible employé sur les propriétés et qualités des fontes obtenues.

D'après ce que nous avons dit, la principale distinction à faire entre les fontes, est fondée sur l'espèce de combustible qui a servi à les former; car les prix de revient, les usages, les prix de vente, etc., en dépendent presque toujours es-

(1) Je ne connais que les hauts-fourneaux de Hayange (Moselle) (dont les dimensions sont d'ailleurs très-considérables par rapport à celles des fourneaux ordinaires au charbon de bois), où l'on fonde indifféremment, mais successivement, et sans arrêter le feu, etc., au coke et au charbon.

sentiellement, lorsque les autres éléments sont les mêmes.

Nous devons donc traiter séparément des *fontes au charbon de bois* et des *fontes au coke*.

§ Ier. *Des fontes au charbon de bois.*

1° Des fontes de moulage.

Ces fontes, lorsqu'on les destine au moulage, sont le plus ordinairement employées en première fusion, c'est-à-dire qu'on prend le métal dans le fourneau pour le verser immédiatement dans les moules : et, pour cet usage, les fontes des fourneaux à charbon de bois sont de beaucoup à préférer à celles des fourneaux à coke, plus chargées de graphite, et détruisant les moules, à cause de leur température trop élevée; mais, d'un autre côté, les fontes destinées au moulage de seconde fusion, sont presque toutes fabriquées au coke; elles sont ordinairement préférées aux premières, précisément par ces mêmes motifs, qui rendent celles-ci peu propres à être refondues pour être ensuite moulées.

La conduite des fourneaux, où l'on veut obtenir constamment de la fonte de moulage en première fusion, est assez délicate et exige beaucoup de soins; le moulage demande aussi bien des précautions. Jusqu'à ces derniers temps on puisait la fonte dans le creuset (l'avant-creuset) du haut-fourneau; il en résultait divers inconvénients, dont les plus graves étaient l'interruption du fondage pendant plusieurs heures de la journée, le refroidissement du fourneau, et, par suite, un accroissement dans la quantité du combustible consommé, par tonne de fonte.

On a imaginé deux moyens de remédier à ces inconvénients, et qui permettent de prendre la

fonte sans arrêter la marche du fourneau; ils ne sont encore en usage que dans un petit nombre d'usines, et ne peuvent être employés avec succès qu'à l'aide de beaucoup de précautions minutieuses; peut-être même seulement dans des circonstances encore mal connues de fluidité du métal, de dispositions plus ou moins grandes à se figer, à déposer du graphite, etc.

Des creusets-puisards.

Le premier moyen, employé d'abord en Allemagne, est celui des *creusets-puisards*, qui ont été décrits dans ces annales (1); j'ajouterai seulement que les principales difficultés que l'on rencontre dans l'usage, consistent dans l'emplacement du creuset; trop rapproché de l'avant-creuset, il se détruit trop promptement; plus éloigné, la fonte s'y fige trop aisément, ce qui engorge le conduit de communication, et oblige à le reconstruire; cela doit dépendre de la température et de la liquidité habituelle de la fonte, ainsi que de la nature des matériaux employés à la construction du creuset; à Niederbronn, on préfère la brique crue, et l'on place maintenant le creuset-puisard à une distance de 14 pouces, après l'avoir mis au commencement, à 8 pouces seulement du grand creuset; la durée de ce puisard s'étend quelquefois à six ou huit mois; mais il est rare que par suite d'accident (refroidissement du fourneau et par conséquent de la fonte), on ne soit pas obligé de le reconstruire tous les deux mois.

Pour les creusets-puisards, comme pour l'autre moyen dont nous allons parler, les fontes presque

(1) Tome 8, p. 33. Il faut se souvenir que nous ne faisons que rappeler les procédés qui ont été convenablement décrits, nous réservant d'entrer dans de plus grands détails à l'égard de ceux qui sont peu connus ou très-importants.

toujours bien liquides, celles qui sont un peu phosphoreuses, et lorsque, d'après la nature des minerais employés, elles ne sont pas sujettes à déposer du graphite, sont celles pour lesquelles on peut se servir avec le plus d'avantage de ces nouveaux procédés.

L'autre moyen employé pour retirer la fonte du fourneau où elle vient d'être produite, consiste à pratiquer dans la paroi antérieure de l'avant-creuset, et ordinairement dans la partie où l'on place la dame, *un trou de coulée*, qui n'est débouché que pour faire répandre le métal dans les cuillers qui servent à le verser dans les moules, ainsi que cela se pratique pour les cubilots; il faut, pour obtenir ainsi de la fonte pure, faire écouler les laitiers de la superficie de l'avant-creuset sur l'un des côtés du fourneau, afin de laisser libre le devant, pour les ouvriers qui viennent prendre le métal.

Cette méthode, qui exige des dispositions particulières, est employée pour les hauts-fourneaux de Hayanges, où on la préfère à celle des creusets-puisards; il paraît qu'elle l'est également dans les forges du prince de Furchtenberg (pays de Bade), et M. de Steinbeiss, directeur général, doit, m'a-t-on dit, publier une description des dispositions qu'il a imaginées et adoptées à cet effet.

On a reconnu, par des essais faits tout récemment dans les forges du Bas-Rhin, qu'elle était préférable à celle des creusets-puisards qui donnent du déchet, en raison du métal impur ou trop refroidi qu'on est obligé d'enlever à la superficie de ceux-ci; il y a d'ailleurs tout à gagner à prendre la fonte au fond du grand creuset.

Il y a des usines où l'on a essayé sans succès cette manière de prendre la fonte des hauts-four-

neaux; mais cela ne prouve rien contre la méthode, qui d'ailleurs, comme nous l'avons dit, peut fort bien ne pas convenir pour toute espèce de fonte de moulage.

Ainsi, il est probable que, pour le fourneau de l'usine royale de Sayn (Prusse Rhénane) où, depuis qu'on y projette de l'air chauffé surtout, la fonte est tellement chargée de graphite, qu'on est obligé de la décarburer dans l'intérieur, en y introduisant du minerai de fer en poussière ou en morceaux (opération qu'on désigne en Allemagne sous le nom de *Futtern* (1)), avant de la verser dans des moules, on ne pourrait pas faire usage de creusets-puisards, et peut-être pas davantage du trou de coulée dont nous venons de parler.

C'est encore la fonte fabriquée avec le charbon de bois qui fournit, par son affinage également exécuté avec ce même combustible, la presque totalité des fers en barres produits et employés sur le continent de l'Europe; en Allemagne (à l'exception d'un fort petit nombre de forges, dans la Silésie prussienne), en France, en Autriche, en Suède, en Russie, les hauts-fourneaux et feux d'affinerie ne consomment presque que du combustible végétal. 2° Fonte de forge.

La fonte de forge obtenue avec le charbon de bois peut être affinée avec un succès presque égal, avec ce même combustible, ou par la méthode anglaise, avec de la houille, ou même de la tourbe sèche. Elle présente cet avantage, sur la fonte au

(1) *Manuel*, etc., de M. Karsten, tome II, p. 288 de la traduction, 2e édition.

coke, qu'elle peut être soumise au puddlage immédiatement (même la plus grise), et sans avoir besoin d'être convertie en *fine métal* (ou préparée par le mazéage), tandis que la dernière ne peut donner de bon fer, si l'on ne pratique pas cette opération, et si l'on ne fait pas suivre le puddlage, au moins d'un corroyage, ce qui n'est pas toujours nécessaire pour l'autre.

C'est dans nos usines à fer de la Champagne, de la Bourgogne, etc., qu'on a le plus perfectionné la fabrication du fer en barres, en employant des fontes au charbon de bois, et en les affinant par la méthode anglaise comme à Abainville (Haute-Marne), à Bologne (Meuse), ou bien par le procédé mixte qu'on a imaginé, qui convient bien à toutes les anciennes forges, et qui, par ses avantages et l'extension qu'il ne peut manquer de prendre, doit exercer la plus heureuse influence sur la fabrication du fer, en France.

C'est à l'aide de ce procédé, qu'il sera possible (et tout à la fois avantageux) de transporter à l'usage des hauts-fourneaux tout, ou presque tout, le combustible végétal qui était, et qui est encore brûlé dans les feux d'affineries; nous y reviendrons incessamment.

D'ici à quelques années, on n'emploiera vraisemblablement plus de fer fabriqué entièrement au charbon de bois, que pour certains usages particuliers où il paraît ne pouvoir être remplacé par aucun autre, tels sont : la fabrication de quelques tôles à fer-blanc; la tréfilerie fine, et pour faire de l'acier de cémentation.

La fabrication de l'acier de forge ou acier d'Allemagne, se rattachera toujours à l'ancien procédé d'affinage, et exigera nécessairement du charbon

de bois, tant pour former la fonte que pour exécuter l'affinage qui le produit.

§ II. *De la fonte fabriquée avec le combustible minéral.*

Pour le moulage, et surtout pour celui qu'on exécute en deuxième fusion, la fonte dite noire, et fabriquée avec du coke, paraît être préférée à toute autre; les fontes anglaises n° 1 sont surtout fort renommées pour cet usage; elles supportent plusieurs refontes sans changer sensiblement de nature, c'est-à-dire en restant toujours douces, faciles à travailler à la lime et au ciseau; elles possèdent, en outre, une grande tenacité, et communiquent cette propriété par leur mélange avec d'autres fontes de moindre qualité. 1° Fonte de moulage.

Les fontes au coke sont rarement employées en première fusion, et seulement pour des objets peu délicats; elles sont généralement trop chargées de graphite, malgré les soins que l'on prend pour obtenir une fonte moins noire que celle n° 1 des Anglais. Mais en France et dans quelques autres contrées, où l'on peut se procurer du coke, on fabrique assez souvent et pour mouler en première fusion, de la fonte avec un mélange de charbon de bois et de coke, c'est ainsi qu'on fait à Torteron (Cher), à Schaffouse...

On n'est pas encore bien fixé sur les causes de la supériorité des fontes anglaises pour le moulage; tout porte à croire qu'elle résulte de la qualité du combustible (coke) et des minerais qu'on emploie à leur fabrication; la composition à peu près invariable de ceux-ci permet de donner au fourneau, et de maintenir une allure très-régulière, et celle qui convient pour produire cette espèce de fonte.

2° Fonte de forge. Quant à la fonte de forge, truitée ou blanche, dont la production coûte toujours moins que celle de la précédente, parce qu'on fait porter au combustible une plus forte dose de minerai, en même temps que l'on fait descendre plus rapidement les charges (ce qui donne un produit journalier plus considérable), la qualité n'est pas partout la même, et toujours bien inférieure à celle des fontes d'affinage obtenues avec le charbon de bois : ici, l'influence du combustible est évidente, mais on croit que c'est aussi aux différences qui existent entre les diverses sortes de coke ou de houille, principalement sous le rapport du soufre contenu dans l'un et dans l'autre cas, que tiennent les différences, souvent considérables, qu'on observe dans les déchets qu'elles éprouvent dans leur affinage, ainsi que dans la nature du fer en barres qu'elles produisent. Il y a malheureusement en France, des exemples d'usines placées dans des circonstances très-défavorables, où la fonte qu'on y fabrique produit peu de fer et de médiocre qualité.

Assez souvent, lorsqu'on a voulu dépasser, pour la production journalière des hauts-fourneaux, des limites assez restreintes, et bien audessous de ce qu'on observe en Angleterre, on a encore augmenté les inconvénients dont nous venons de parler, et surtout en fondant des mélanges plus riches en fer. Toutefois l'emploi de *l'air chauffé* a permis quelquefois de faire des fusions plus rapides et plus riches, sans éprouver les mêmes désavantages.

Sous le rapport de la quantité du produit journalier, et par conséquent de ce qu'on obtient annuellement des hauts-fourneaux à fer, on remarque de grandes différences entre ceux du

pays de Galles ou de la Belgique (tous à l'air froid), et ceux de la France et de la Silésie prussienne; tandis que chaque haut-fourneau, chez nos voisins, produit par 24 heures 12, 15, ou même (comme dans quelques usines des environs de Charleroy) jusqu'à 16 ou 17 tonnes de fonte de forge, et avec des minerais qui rendent de 40, à 42 pour 100, les nôtres (et ce sont les plus favorisés) ne donnent que 6, 7 ou 8 tonnes (à l'air froid), et beaucoup d'autres de 5 à 6 tonnes, de la même espèce de fonte.

Lorsqu'à la Voulte (Ardèche), en fondant encore à l'air froid, on voulait au moyen de mélanges de minerais plus riches, dépasser 7 tonnes par jour, la fonte devenait presque intraitable à l'affinage. Il fallut y renoncer; maintenant, avec l'air chaud, on peut produire 9 tonnes au moins, sans tomber dans le même inconvénient.

Toutefois, dans ces derniers temps (1), dans la grande usine d'Alais, on a obtenu et l'on obtient encore, je crois, d'un fourneau à l'air froid, et sans employer aucun procédé particulier, un produit journalier qui se rapproche de ceux dont nous venons de parler : en chargeant du coke de très-bonne qualité et des minerais tenant de 50 à 52 pour 100 de fer et au-dessus; enfin, en se servant de buses (il y a deux tuyères) de 30 lignes (au lieu de 20 ou 23), on fabrique journellement de 12 à 14 tonnes ou mille kilogrammes de fonte de forge, tantôt blanche, tantot truitée : la consommation en coke n'a guère dépassé 1,600 kilogrammes pour 1,000 de fonte.

Anciennement (en 1833, 1834), on n'avait ja-

(1) Octobre 1836 et janvier 1837

mais obtenu plus de 8 tonnes, et, à l'ordinaire, c'était de 4 à 6 tonnes.

Tels sont les renseignements que je dois à l'amitié de M. Thibaut, ingénieur en chef, résidant à Alais; cela prouve qu'avec un bon choix de combustible et de minerais (ceux d'Alais me paraissent analogues aux meilleurs de ceux que l'on emploie en Belgique), et en donnant du vent en quantité suffisante, au moyen de bonnes machines soufflantes (1), on peut obtenir en France, des résultats aussi avantageux qu'en Belgique.

Il serait fort à désirer que l'on trouvât le moyen d'obtenir de bonnes fontes, et en quantité notable, avec notre combustible minéral, le plus souvent fort médiocre et surtout fort sulfureux; jusqu'ici on n'y a guère réussi, et je ne vois que l'emploi de l'air chauffé qui ait amélioré la marche des hauts-fourneaux, comme on le voit à la Voulte, à Vienne, aux environs de Saint-Etienne et peut-être ailleurs; il paraît cependant qu'on a généralement abandonné l'usage de ce procédé en Angleterre, pour la fabrication de la fonte de forge seulement. L'exemple de ce qui a lieu dans le pays de Galles, en Belgique, et du résultat obtenu à Alais, que nous venons de citer, fait voir qu'il y a des circonstances où l'on peut très-bien s'en passer.

3º Emploi d'un mélange de charbon de bois et de coke.

Nous n'avons rien de particulier à dire sur le mélange du charbon de bois et du coke employé pour fondre les minerais de fer; lorsqu'on trouve de l'économie dans cette manière de procéder, ou

(1) En Belgique, chaque fourneau a sa machine soufflante mue par une machine à vapeur de 45 à 50 chevaux de force.

seulement un moyen d'épargner du combustible végétal, ou de fabriquer plus de fonte avec une même quantité de charbon de bois, on peut en faire usage, surtout pour obtenir des fontes que l'on peut alors mouler en première fusion.

Mais comme fonte de forge, elle donnera toujours du fer d'une qualité inférieure à celle du fer des fontes au charbon de bois, même en la traitant au four à puddler, après l'avoir soumise au mazéage : c'est ce qui a été reconnu à Fourchambaut, où la fonte est cependant formée avec un mélange composé des deux tiers de charbon de bois et d'un tiers de coke de Saint-Etienne.

B. Influence de la nature et des propriétés des minerais sur la qualité des fontes, et par suite des fers en barres qu'on en obtient.

Le choix des minerais de fer est toujours important, ainsi qu'on le sait depuis longtemps, non-seulement en raison de la nature et des proportions des gangues terreuses qui accompagnent l'oxide de fer, et ensuite de leur richesse, mais encore en raison des substances nuisibles qui s'y trouvent, et qui, malgré leur petite dose, altèrent notablement les propriétés utiles de la fonte, et surtout celles du fer en barres qui en provient; le soufre, le phosphore, le cuivre, sont les principales, et exercent cette fâcheuse influence sur les produits des hauts-fourneaux, lorsqu'ils se rencontrent dans les minerais ou bien même dans le combustible, comme il arrive pour le soufre contenu dans le coke ou la houille employés dans les charges.

Il y aurait aussi à considérer les effets produits dans les hauts-fourneaux par de certains minerais, dont les uns paraissent mieux convenir pour produire de la fonte grise, d'autres pour produire de la fonte blanche lamelleuse, d'autres de la fonte facile à affiner, tout en donnant du bon fer forgé (comme est la fonte caverneuse en Styrie); d'au-

tres enfin de la fonte à acier (*stahleisenstein*), comme les fers spathiques du Stahlberg, près du Rhin, etc., mais on manque d'observations précises et suffisamment étendues à cet égard.

Au reste, c'est principalement, pour ne pas dire uniquement, lorsqu'on fond au charbon de bois, que l'on choisit scrupuleusement les minerais qu'on doit employer pour fabriquer de la fonte devant donner par l'affinage, telle ou telle espèce de fer; on conçoit en effet que ce serait le plus souvent peine perdue, ou dépense inutile, que de traiter ou fondre des minerais très-purs (et ordinairement les plus chers) avec du coke plus ou moins sulfureux, et qui produira de la fonte également sulfureuse, dont le fer sera toujours plus ou moins difficile à souder et à forger, ou même cassant à chaud; il suffit d'éviter, quand on le peut, de se servir de minerais trop impurs, surtout de ceux qui contiennent beaucoup de phosphates, et qui donneraient des fontes sans tenacité, et du fer très-tendre.

Du choix des minerais pour les fourneaux au charbon de bois, et relatif aux diverses espèces de fers en barres que l'on veut obtenir.

C'est donc principalement pour les fourneaux au charbon de bois, qu'on apporte le plus de soin au choix des minerais, et qu'on fait le plus de sacrifices pour s'en procurer de bons; mais c'est plus particulièrement encore, lorsqu'il s'agit de fonte de forge destinée à donner du fer de qualité supérieure, qu'on doit rechercher les minerais que l'expérience a fait connaître comme devant être préférés pour cet objet.

Voilà pourquoi, il n'y a que certaines forges ou certains fourneaux, en raison des minerais dont ils peuvent être approvisionnés, qui fournissent de très-bons fers; la qualité du fer ne dépend guère que des minerais, le combustible végétal

étant toujours et partout sensiblement exempt de substances nuisibles au fer, et les méthodes d'affinage, d'une assez faible influence à cet égard (1); voilà ce qui a fait, et ce qui maintient la réputation des fers de Suède, de Styrie, de Franche-Comté, et de même pour les aciers de Styrie, de Bendorf, etc.

La nature des minerais c'est-à-dire, la présence ou l'absence de certaines substances nuisibles, ou la pureté plus ou moins grande des composés d'où l'on veut extraire le fer, et par suite celle des fontes qu'on en obtient, étend son influence jusque sur les propriétés les plus délicates du fer forgé, et qui sembleraient devoir dépendre plus particulièrement du mode d'affinage et des soins apportés à l'exécution de l'opération; telles sont la dureté, la tenacité, la compacité ou densité, la malléabilité et la ductilité, enfin la soudabilité du fer : sans doute, un mauvais travail à l'affinage peut faire disparaître ou diminuer plus ou moins ces propriétés utiles; il peut aussi les donner ou les augmenter jusqu'à un certain point, dans certains fers; mais il faut pour cela, et en premier lieu, que la nature de la fonte s'y prête, et l'influence primitive de la composition des minerais, si elle doit être nuisible, se fait toujours plus ou moins sentir : c'est avouer, ce qui n'est malheu-

(1) C'est ainsi que la nature des minerais employés, détermine celle des fontes qui seront produites, et fait distinguer celles-ci, d'après l'espèce ou la qualité du fer forgé qu'on en obtiendra, en fonte de *fer tendre*, de *fer metis*, de *fer fort*, dans les usines des départements des Ardennes, de la Moselle, de la Meuse, etc.

Dans la Champagne, on distingue les fers en raison des minerais dont ils proviennent, en *fer de roche*, *de demi roche*, ou *fer fort*, *demi-fort*, etc.

reusement que trop vrai, que l'art métallurgique est encore fort impuissant pour détruire, ou seulement pour corriger, soit dans les hauts-fourneaux, soit à l'affinage, les mauvais effets que produisent certaines substances réunies à l'oxide de fer. Ainsi, lorsque *la Société d'encouragement pour l'industrie nationale* proposa pour l'un de ses prix annuels, de trouver un *procédé pour fabriquer de la fonte et du fer de bonne qualité, avec toute espèce de minerais*, cette question était prématurée, et quelque désirable qu'il fût d'en avoir une solution, même incomplète, il a fallu la retirer du concours.

C'est bien, et il importe de le faire remarquer, l'influence chimique de certaines substances qu'il faut combattre; c'est leur séparation complète ou à peu près qu'il faut opérer chimiquement; et comme leur affinité pour le fer est assez forte, leur proportion fort petite, et enfin qu'il faut agir sur de grandes masses, et toujours par des moyens fort économiques, le problème est difficile et sa solution encore fort imparfaite.

Nous venons de donner, il n'y a qu'un moment, des exemples de ce que pouvait produire journellement en fonte, et avec un combustible de bonne qualité, un haut-fourneau à coke; il y en a d'analogues parmi les fourneaux au charbon de bois et quelques-uns sortent de l'ordinaire, à cet égard; nos fourneaux donnent communément un produit journalier de $2\frac{1}{2}$ à 3 tonnes de fonte : on en peut citer cependant qui étant pourvus de fortes machines soufflantes donnent de 5 à 6 tonnes; ceux de Hayange en produisent jusqu'à 8; mais il n'en est guère, je crois, que l'on puisse comparer à quelques-uns de ceux de la Toscane, où l'on fond des minerais de l'île d'Elbe. Voici ce que

j'ai appris relativement au fourneau de *Follonica*, situé dans les Maremmes, à la hauteur de l'île d'Elbe : sa hauteur est de 24 pieds, et ses autres dimensions proportionnées à celle-ci; il produit, par 24 heures, de 12 à 13,000 kilogrammes de fonte de forge; mais, lorsqu'on travaille en fonte de moulage, son produit est moindre. Ce fourneau réunit au plus haut point, à ce qu'il paraît, les trois conditions nécessaires pour donner les plus grands produits : les minerais qu'on y fond (ceux de l'île d'Elbe) sont très-facilement fusibles, et rendent, terme moyen, 58 pour 100 de métal ; le charbon qu'on emploie est de première qualité; celui de chêne vert est, dit-on, presque comparable au coke pour la densité, et brûle avec bien plus de facilité que ce dernier; les charbons du chêne dit *cero* et de quelques autres essences, sont également excellents, et peu différents de l'autre.

Enfin, on lance dans ce fourneau, une très-grande masse d'air, et comparable à celle qui est introduite dans divers fourneaux à coke; c'est, dit-on, environ 2,000 pieds cubes par minute; quantité quintuple de celle que reçoivent la plupart des fourneaux au charbon de bois.

Il y a, en Toscane, d'autres fourneaux appartenant au grand-duc (entr'autres celui de Pistoïa), qui, placés dans des circonstances semblables à celles où se trouve le haut-fourneau de Follonica, donnent un produit journalier peu différent, comme de 10, 9 ou 8 tonnes (1).

(1) Le fourneau de Follonica, sur lequel M. Leblanc, alors élève à l'Ecole des mines, a rédigé une note, après avoir visité les lieux en 1834 (et d'où j'ai extrait ce qui

Des lits de fusion pour les hts-fourneaux à fer.

Nous terminerons ces généralités relatives au traitement des minerais de fer, avec le charbon de bois, en indiquant une manière de préparer le chargement des hauts-fourneaux, qui est maintenant fort accréditée, dit-on, dans les usines du nord de l'Allemagne.

Je ne sais si elle serait aussi avantageuse pour les fourneaux à coke.

On forme, pour opérer ensuite le chargement des hauts-fourneaux, des *lits de fusion*, comme on le fait toujours lorsqu'il s'agit de fondre des minerais de cuivre, et surtout de plomb ou d'argent, etc., dans les fourneaux à manche, ou les demi-hauts-fourneaux, ordinairement bien moins

---

précède comme ce qui suit), est haut de 24 pieds, et présente, pour son intérieur, la forme des anciens flussofen de Styrie.

Le charbon est formé par la carbonisation en tas, des bois dénommés ci-dessus.

La machine soufflante fournit (d'après le calcul fait sur les dimensions et vitesse des pistons) 2.000 pieds cub. d'air par minute, sous une pression qu'on évalue à 1 liv. par pouce carré de surface.

On fait, terme moyen, 200 charges en 24 heures, et l'on coule de trois heures en trois heures, environ 1.500 kil. à chaque fois.

Une charge (pour fonte d'affinage, sans doute) se compose de :

	liv. de Toscane.	kilo.
Charbon. . .	190	= 64,60
Minerai . . .	385	= 130,90
Castine. . . .	20	= 6,80

C'est 144 kil. de matières fondues par 65 kil. de charbon, ou bien 1 kil. de charbon a fondu 2.2 de matières.

On consomme 1,1 partie de charbon pour 1 de fonte obtenue : or, nous avons des fourneaux, également à l'air froid, qui ne dépensent pas plus de combustible, par tonne de fonte produite, que ceux de la Toscane.

élevés que ceux que l'on emploie pour fabriquer la fonte.

Les minerais sont mélangés entre eux et avec la castine, dans les proportions reconnues pour être les plus convenables, en les étendant par couches superposées, sur le sol de la fonderie, et recoupant ensuite avec une pelle.

Le combustible est toujours chargé seul, et ordinairement sans alterner avec la matière à fondre.

C'est ainsi que l'on procède actuellement dans les forges du Bas-Rhin et ailleurs.

Toutefois, je n'ai pas vu pratiquer cette méthode à Wasseralfingen, et il en est de même dans l'usine royale de Sayn (Prusse Rhénane) : cela tient sans doute à ce que, dans ces usines, les minerais sont en roche, c'est-à-dire provenant de masses concassées, et non pas bocardées et lavées (ou seulement lavées, comme les minerais en grains détachés), c'est-à-dire en petites parties dont il est facile de former un mélange sensiblement uniforme ; ce dernier cas est celui des minerais (et même de la castine) employés dans les forges de Niederbronn, Zinzwiller, etc.

On conçoit d'ailleurs, qu'il y aurait une dépense à faire et peut-être d'autres inconvénients à subir, si l'on voulait réduire en très-petits fragments, les minerais de fer spatique, de fer carbonaté terreux, les hématites, etc. ; et bien que, un mélange intime des substances à fondre semble devoir être favorable aux réactions chimiques et aux combinaisons qui doivent s'accomplir, il faut cependant éviter de former des poussières, dont le traitement est toujours désavantageux, dans tous les fourneaux à courant d'air forcé.

Pour compléter ce que nous avons à dire sur

l'état actuel de la fabrication de la fonte, et faire pressentir l'avenir de cette industrie, il nous reste à traiter, avec une certaine étendue, de trois objets importants, savoir : de l'emploi, dans les fourneaux 1° de l'air chauffé; 2° des combustibles non carbonisés; 3° enfin, des moyens d'employer utilement la chaleur des flammes perdues des hauts-fourneaux.

§ III. *De l'emploi de l'air chauffé.*

De l'air chauffé employé dans les hauts-fourneaux.

L'air chauffé est appliqué à un grand nombre de fourneaux à fer, et on y trouve généralement des avantages plus ou moins considérables, tandis qu'on le repousse, ou même qu'on l'a abandonné dans quelques usines, en raison des divers inconvénients qu'il a fait naître. Si, comme il y a lieu de le croire, ces décisions opposées sont également fondées, il importe d'en rechercher les causes, afin de distinguer les cas où ce moyen, certainement influent, peut être employé avec avantage ou sans inconvénients.

Ce procédé, il faut en convenir, n'a pas réalisé toutes les espérances qu'on en avait conçues, même relativement à l'économie du combustible, qui est cependant encore le résultat le plus réellement avantageux qu'on en ait obtenu; on a reconnu cette économie jusque dans les usines où l'on a cru devoir en abandonner l'usage, par divers motifs.

Si nous voulons résumer les avantages et les inconvénients qu'on a reconnus généralement en employant l'air chauffé, dans les hauts-fourneaux à fer, nous indiquerons les résultats qui suivent.

Au nombre des avantages, on doit compter 1° une diminution plus ou moins considérable dans la quantité de combustible qui était consommée, avec l'air froid, pour fabriquer une tonne de fonte, dans le même fourneau, et avec les mêmes éléments.

Avantages résultant de l'emploi de l'air chauffé.

Cette économie devait être différente pour chaque fourneau, et dépendre de la consommation ancienne à laquelle on la comparait; et toujours d'autant plus grande que celle-ci était elle-même plus considérable; c'est en effet ce que l'on a observé: il y a des fourneaux pour qui l'application de l'air chauffé a produit une grande diminution dans la dépense du combustible, et d'autres où elle a été peu sensible.

Economie du combustible.

On reconnaît assez généralement maintenant que c'est à la concentration de la combustion, et par conséquent de la chaleur, dans la partie inférieure des fourneaux (dans l'ouvrage), qu'est due principalement l'économie dont il s'agit, ainsi que quelques autres effets avantageux, résultant de la projection d'un air préalablement échauffé; de sorte que c'est parce que le combustible introduit dans le fourneau y est brûlé, consommé ou employé d'une manière plus avantageuse qu'auparavant, qu'il y a économie, et en même temps une plus haute température, etc.; on conçoit donc qu'il puisse y avoir d'autres moyens d'obtenir le même résultat.

Quelques métallurgistes ont, en effet, prétendu que l'on pouvait toujours se procurer avec de l'air froid, les mêmes avantages qu'on obtient du vent chaud, au moyen de bonnes proportions données à l'intérieur des fourneaux, et d'une bonne conduite de la fusion; mais ils convien-

nent que l'air chauffé, appliqué à des fourneaux qui consomment beaucoup de combustible, est un moyen de les amener plus promptement et plus sûrement, que par des essais ou des tâtonnements toujours longs, pénibles et dispendieux, à cet état normal de consommation qui est assez bien connu pour les divers genres de fourneaux, eu égard à leurs dimensions, et à l'espèce de combustible qu'on y emploie.

Quand il serait vrai qu'à cela se bornât l'avantage du vent chaud, ce serait encore un procédé fort utile; surtout, lorsque, en se servant de la flamme du gueulard, on ne fait aucune dépense de combustible pour chauffer l'air. Mais nous pensons qu'on ne doit pas admettre l'assertion précédente comme étant d'une vérité absolue : il en faut seulement conclure que l'économie de combustible apportée par ce procédé, a été peu sensible, pour certains fourneaux, où l'on a cependant continué de l'employer, en raison des autres avantages qu'on y a trouvés(1), et qu'elle sera d'autant moindre que la consommation approchera davantage du *minimum*, dont nous venons de parler.

On avait cru, dans l'origine, que le vent chaud favorisait l'emploi dans les fourneaux, des combustibles dans leur état naturel, c'est-à-dire non carbonisés : mais bien des faits ont paru infirmer cette conclusion ; cependant il n'est pas démontré

(1) Par exemple, pour former de la fonte de moulage, comme aux fourneaux de Torteron, dépendants de Fourchambaut, et où cependant le chauffage de l'air est dispendieux, puisqu'il se fait au moyen de deux foyers spéciaux brûlant de la houille.

que cela ne puisse avoir lieu, dans certaines circonstances encore peu connues.

2° D'autres effets, et nous nous bornons encore en ce moment, à énoncer ceux que l'on doit considérer comme avantageux, sont également produits par l'air chauffé, ou si l'on veut, par une meilleure distribution de la chaleur dans l'intérieur des hauts-fourneaux à fer; ainsi, on observe généralement que la fusion des matières est plus facile, si ce n'est plus prompte (car on a observé quelquefois une descente des charges plus lente qu'à l'air froid); on a des laitiers plus fluides, enfin une *allure plus chaude* et toutes les conséquences qui s'ensuivent; de-là une production plus facile, plus ordinaire et plus soutenue de la fonte grise, ou fonte de moulage, à moins qu'on n'y mette obstacle; elle peut même devenir trop graphiteuse, comme à Sayn; de-là encore la possibilité d'employer des minerais ou des mélanges plus réfractaires qu'avec l'air froid; on a pu, dans bien des usines, diminuer la dose de castine, dans les charges, pour produire la même espèce de fonte, lorsqu'elle ne doit servir qu'à faciliter la fusion; et, dans d'autres cas, lorsqu'il peut être utile de mettre un excès de chaux pour absorber du soufre ou du phosphore, on peut le faire, tout en conservant aux laitiers, une liquidité suffisante (1). L'emploi

(1) Si l'air chauffé employé dans les hauts-fourneaux permettait d'introduire dans les charges, et sans nuire à la qualité de la fonte (et sans trop détériorer l'ouvrage), une plus forte proportion de scories de forges, sornes et autres silicates riches, qu'on ne peut le faire avec l'air froid, ce serait encore un avantage notable, et qui de-

de l'air chauffé a rendu la conduite des fourneaux (du moins, du plus grand nombre) plus sûre, plus régulière et moins pénible; on a pu fermer, ou à demeure, ou en le débouchant seulement de temps en temps, le vide de la tuyère qui laisse voir le feu, et cela n'est pas sans avantage; on n'a presque jamais besoin d'y travailler, dans certains fourneaux; enfin, on a trouvé dans l'application momentanée du vent chaud, aux fourneaux pour lesquels on n'a pas cru devoir en continuer l'usage à l'ordinaire, un moyen très-efficace pour dissiper les embarras où les engorgements commencés, qui s'y forment quelquefois par suite de refroidissement.

Quant aux inconvénients de l'emploi de l'air chauffé pour la fabrication de la fonte, ils résultent principalement, pour la fonte de moulage, d'une diminution dans la tenacité; soit que cela provienne de ce qu'elle est plus poreuse, moins dense, ou plus chargée de graphite que celle que l'on formerait à l'air froid, avec les mêmes matériaux; soit que cela tienne à ce que la fonte a été formée à une trop haute température (1). On a aussi trouvé que les fontes de forge à, l'air chaud, étaient souvent un peu plus difficiles à affiner que

vrait attirer l'attention des maîtres de forge; ce résultat, dont on connaît déjà quelques exemples, est d'accord avec les effets bien constatés du vent chaud. A la Voulte (Ardèche), on a pu fondre avec l'air chaud, des minerais plus riches qu'à l'air froid, et obtenir néanmoins de bonne fonte de forge, etc., à Sayn, fondre des minerais très-réfractaires, et qu'on n'employait auparavant qu'en fort petite proportion.

(1) Il est arrivé assez souvent que la tenacité a reparu après une refonte; mais cela est inapplicable aux fontes que l'on doit mouler en première fusion.

les autres ; qu'elles éprouvaient quelquefois plus de déchet dans leur conversion en fer forgé, ce qu'on attribuait à une plus forte proportion de silicium réduit, et combiné dans cette fonte. On a même dit que les fers provenant de fontes fabriquées à l'air chaud, avaient moins de tenacité que les autres : pour ce qui est des fers, je n'ai rien appris de semblable, et s'il y a au commencement, en effet quelques difficultés de plus à affiner ces fontes avec le charbon de bois, on n'y fait plus guère attention maintenant ; mais j'ai vu, au contraire, dans quelques usines (ainsi que je le dirai tout à l'heure), que la qualité des fontes et des fers en barres, très-médiocre à l'air froid, avait été notablement améliorée par le vent chaud appliqué aux hauts-fourneaux et aux affineries, les uns et les autres au charbon de bois.

Pour exposer convenablement quelques détails sur les effets de l'air chauffé, employé dans les hauts-fourneaux, nous distinguerons parmi ces derniers, ceux qui consomment du combustible végétal de ceux où l'on brûle du combustible minéral.

1° Dans les fourneaux à charbon de bois.

Le procédé du vent chaud s'est étendu généralement dans toutes les forges de l'Allemagne, qui travaillent au charbon de bois ; on voit aussi en France un bon nombre de hauts-fourneaux qui reçoivent de l'air chauffé ; peu en Belgique.

Les appareils de chauffage pour l'air, sont assez variés, mais c'est toujours la flamme perdue du gueulard qui leur fournit la chaleur qui leur est nécessaire ; elle suffit pour donner au vent une chaleur de 2 ou 300° c., et c'est tout ce qu'il en faut pour en obtenir de bons effets ; quelquefois même, on a été dans le cas de réduire la

température de l'air, de manière à ne pas dépasser 200° c., et cela afin que la fonte produite fût plus compacte et plus tenace.

Les variations que l'on observe dans les effets produits par le vent chaud, dans différents fourneaux au charbon de bois, sont plus nombreuses et plus difficiles à expliquer que celles qui ont lieu dans les fourneaux à coke; peut-être ce procédé convient-il moins pour de certains minerais, pour de certaines formes intérieures de fourneau, usitées dans une contrée? Ce qu'il y a de sûr, c'est que, tandis qu'on s'en trouve très-bien, au Hartz, en Saxe, dans le Wurtemberg, le grand duché de Bade, etc., on l'a abandonné dans diverses forges, en France, comme en Champagne et ailleurs.

Bons effets et économie de combustible produits par le vent chaud.

En Allemagne, on assure partout que l'économie de charbon qu'a procurée l'emploi de l'air chauffé, n'est pas moindre de 30 pour 100 pour les hauts-fourneaux, et on en fait usage, soit qu'on travaille en fonte de forge, ou bien en fonte de moulage : dans l'usine royale de Sayn on a constaté, par des expériences très-soignées (1), que l'économie du charbon était de 16 pour 100, que l'on pouvait employer des mélanges bien plus réfractaires qu'avec l'air froid, et même que les minerais (fer spathique, hématites, etc.) rendaient plus de métal qu'auparavant; enfin la fonte, bonne pour le moulage, lorsqu'on avait diminué l'excès de graphite qu'elle contient souvent, était

(1) *Voyez*, dans les les archives de M. Karsten pour 1835, tome V, pag. 429, un mémoire fort étendu et avec plusieurs planches, de M. Schaeffer, sur l'emploi du vent chaud, dans le haut-fourneau et le cubilot de Sayn. Ce cubilot présente une disposition particulière pour y puiser la fonte.

affinée pour fer avec la même facilité qu'auparavant.

En Saxe, on a employé avec succès l'air chauffé dans les fourneaux où l'on traite les minerais de cuivre, ainsi que pour les fontes crues exécutées sur les minerais d'argent; mais ce procédé n'a pas réussi pour les fontes au plomb. Il a fallu d'ailleurs établir des foyers particuliers servant à chauffer des caisses en fonte où circule l'air avant d'arriver à la tuyère; les vapeurs sulfureuses et métalliques, qui se trouvent en forte proportion dans les flammes qui sortent du gueulard de ces fourneaux, ne permettaient pas de se servir de celles-ci.

Inconvénients attribués au vent chaud.

Dans les fourneaux de la Champagne où l'on a appliqué le vent chaud, il en est résulté souvent des chutes de mine extrêmement fréquentes, qui dérangeaient la marche du fourneau, de manière qu'il ne donnait que de mauvaise fonte, et que l'on perdait les avantages économiques qu'on aurait pu attendre de ce nouveau procédé. On a attribué ces chutes à la fusibilité des minerais, en raison de quoi ils pouvaient s'agglutiner au-dessus ou à la partie supérieure de l'ouvrage, s'y arrêter en formant voûte, et ensuite tomber en masse dans le creuset par la destruction de celle-ci; quelques métallurgistes pensent que cet accident dépend de la forme intérieure des fourneaux, et est plus fréquent dans ceux qui sont très-élevés, comme à Hayange; mais ce n'est pas le cas de ceux de la Champagne, qui n'ont généralement que 23 ou 24 pieds d'élévation.

Il en est qui croient que les fourneaux à l'air chaud doivent être moins hauts que les autres, et si cela était vérifié, on pourrait le regarder comme

une conséquence de la concentration de la combustion et de la chaleur, dans le bas de ces fourneaux.

Si nous considérons maintenant la qualité des fontes, et particulièrement de celles destinées au moulage en première fusion, nous observons d'assez grandes différences à cet égard, et dans les effets produits par l'air chauffé : dans certaines forges (à Torteron, à Loullans), et d'après des essais faits sur des projectiles creux, la tenacité du métal n'aurait point été diminuée; mais il n'en est pas de même ailleurs. Dans les usines du Bas-Rhin, on a été forcé de supprimer le vent chaud dans les fourneaux qui travaillent en fonte de moulage (1), et parce que celle-ci manquait de tenacité, même après avoir abaissé jusqu'à 100° R., la température de l'air introduit dans la tuyère; cependant il y avait une économie sensible sur le combustible consommé, et d'environ $\frac{1}{5}$ ou 16 pour 100; c'est au fourneau de Jaegerthal que l'air chauffé n'est plus employé que pour remédier aux embarras qui peuvent survenir pendant le travail.

Amélioration des fontes et des fers tendres, par l'emploi du vent chaud.

Mais dans ces mêmes forges, pour le fourneau de Zinzwiller, qui travaille en fonte d'affinage, et fond des minerais calcaires et phosphoreux, le vent chaud produit les meilleurs effets : la fonte qu'on obtenait auparavant avec l'air froid n'avait aucune tenacité, et le fer qu'elle donnait était extrêmement cassant à froid : depuis qu'on se sert du nouveau procédé, la fonte et surtout le fer (qui

(1) Dans quatre fourneaux employant les mêmes minerais, ceux de Niederbronn, Jaegerthal et de Mutterhausen.

est fabriqué par un affinage exécuté aussi avec de l'air chauffé) sont d'une qualité de beaucoup supérieure à celles qu'ils avaient précédemment; de plus, l'économie sur le charbon consommé au haut-fourneau est dans le rapport de 4 : 3 environ, c'est-à-dire d'un quart de ce qu'on brûlait à l'air froid.

On a déduit de ces observations, et principalement des effets si différents produits par le vent chaud, dans les fourneaux dont nous venons de parler (au nombre de cinq), ou plutôt sur les résultats qu'on en obtient en traitant diverses espèces de minerais, une conséquence qui serait fort importante, si l'on pouvait la généraliser, ce qui demanderait des observations concordantes plus multipliées.

C'est que le vent chaud convient pour fondre les minerais calcaires, et qu'alors il ne diminue pas la tenacité des fontes, pouvant même en améliorer la qualité, tandis qu'il ne convient pas pour les minerais siliceux (1). Je crois que les minerais que l'on fond habituellement dans les fourneaux de la Champagne, où l'on repousse l'air chaud, sont en effet de cette dernière espèce.

La possibilité de tenir bouché constamment, ou presque toujours, le vide des tuyères lorsqu'on emploie l'air chauffé dans les hauts-fourneaux à fer, ne serait pas sans avantage, si, comme me l'a assuré M. Faber-Dufaur, directeur à Wasseral-

(1) On a dit que, lorsque la réduction du silicium s'opère en certaine quantité, la carburation du fer, et surtout la formation de la fonte grise, ne se fait pas d'une manière convenable. Peut-être y a-t-il quelque chose de semblable, dans le cas dont il s'agit?

fingen, il en résulte une économie sensible sur la force motrice employée à projeter de l'air dans ces fourneaux. Toutefois, on m'a dit ailleurs que cette fermeture avait le grand inconvénient d'occasionner une prompte destruction de l'ouvrage et du creuset. Je ne sais pas ce qui a pu être observé à cet égard, sur les fourneaux à coke, mais il paraît que le plus souvent on tient fermé, pendant le travail, l'ouverture dont il s'agit.

2° Dans les fourneaux à coke.

L'emploi du vent chaud, dans les fourneaux où l'on consomme du combustible minéral, a produit de fort bons effets dans presque tous ceux où on l'a appliqué en France; je n'ai rien à ajouter à ce que j'ai eu occasion de dire dans le *Rapport*, etc. (1), que j'ai fait après mon voyage de 1834; ayant visité l'année dernière (1836) les usines de la Belgique, je n'ai vu que des essais à peine commencés pour introduire ce nouveau procédé; mais j'ai appris qu'il n'y avait pas pris faveur; au reste, lorsqu'il s'agit de hauts-fourneaux travaillant en fonte de forge, et ne consommant guère plus d'une tonne un quart de coke, pour une tonne de fonte produite, comme chez M. Orban, près de Liége, on ne peut pas en espérer une économie notable de combustible : l'avantage pourrait être plus grand, dans la fabrication de la fonte de moulage.

On assure que, maintenant dans les usines de la Grande-Bretagne, on a abandonné généralement l'emploi de l'air chauffé pour les hauts-fourneaux qui travaillent en fonte de forge : cela n'est pas surprenant, et s'explique par ce que nous avons dit précédemment, à savoir que les effets

(1) *Annales des mines*, 3ᵉ série, tome VII, p. 51.

de cette manière de fondre les minerais, sont principalement de former de la fonte très-carburée, ou même graphiteuse; peut-être aussi de favoriser la formation et la combinaison du silicium; toutes circonstances contraires ou même opposées à ce qu'on doit se proposer de faire, en fabriquant de la fonte pour l'affinage, et qui est évidemment d'obtenir celle-ci disposée à s'affiner aisément, promptement et complétement.

Il faut remarquer, en outre, que l'économie du combustible est toujours bien moindre pour la fonte de forge que pour l'autre. On l'a quelquefois portée à 30 ou du moins à 25 pour 100; mais des évaluations plus exactes ont souvent montré qu'il ne fallait compter que sur un sixième, ou environ 16 pour 100, en y comprenant la houille consommée pour chauffer l'air, et lorsqu'il s'agit de fontes de forge.

L'exemple de ce qui a lieu dans le pays de Galles, en Belgique, et tout récemment à Alais, prouve qu'avec l'air froid, on peut, ainsi que nous l'avons dit, produire, dans des circonstances favorables, beaucoup de fonte de forge, et avec une grande économie de combustible, du moins lorsque celui-ci est du genre minéral.

§ IV. *De l'emploi des combustibles non-carbonisés, dans les hauts-fourneaux à fer.*

On ne saurait trop souvent reporter l'attention des métallurgistes sur l'énorme perte de matières propres à produire de la chaleur, qui a lieu par le fait de la conversion d'un combustible en charbon. Pour le bois, la quantité de chaleur perdue par sa carbonisation, celle que l'on aurait pu en obtenir, en sus de celle que

produira le charbon qu'on en retire, si on l'eût brûlé dans son état naturel et supposé bien sec, est, d'après les expériences de Rumfort, des deux tiers; d'autres disent des trois quarts du tout; il y a des savants qui n'admettent qu'une perte des deux cinquièmes; c'est donc environ la moitié de la quantité de chaleur, ou la moitié du combustib e que l'on brûle, qui est consommée inutilement, supposé que l'on pût employer à produire le même effet, ou le même résultat métallurgique, les combustibles dans leur état naturel; c'est-à-dire y faire concourir la chaleur produite par les parties volatiles et par les parties fixes, dont ils sont tous composés. Nous verrons que cela est toujours fort difficile, pour de certaines opérations.

Si l'on ajoute les pertes faites sur le carbone, dans l'opération de la carbonisation, telle qu'on la pratique en grand, et qui réduit le produit en charbon de bonne qualité, à 15 ou 17 pour 100, en poids; puis le déchet qui a lieu sur ce même produit, soit dans les transports, soit dans les magasins, on verra que la perte réelle éprouvée sur la matière combustible ou la chaleur perdue s'élève bien ordinairement aux deux tiers ou aux trois quarts du tout.

Pour la houille, et surtout pour l'espèce qui est la plus propre à être convertie en coke, la perte est beaucoup moindre; on l'évalue au cinquième seulement, dans les cas les plus favorables; mais, pour les houilles qui produisent un coke plus ou moins friable, et que l'on est cependant fréquemment obligé de soumettre à la carbonisation, il y a des déchets considérables sur le coke fabriqué, et qui se réduit en poussière par les transports ou dans les magasins: c'est

ainsi que des houilles qui donnent en petit, dans les essais, 40 ou 50 pour 100 de coke, ne rendent, en définitive, que 30 ou 35, lorsqu'on évalue leur produit d'après les livres d'entrée et de sortie des gardes-magasins.

M. Nailly parle d'une houille dont on faisait du coke au Creusot, et qui ne rendait que 30 ou 40 hectolitres de coke p. 100, ou entre 12 et 16 p. 100, en poids (1).

Toutefois, il y a, dans le pays de Galles, certaines espèces de houille, qui produisent plus de 70 pour 100 de coke, et en Belgique, 65 ou 68.

Mais on doit remarquer, relativement au bois et au charbon de bois, des différences qu'il importe de rappeler, parce qu'il en faut tenir compte pour apprécier les avantages divers que l'on peut trouver à remplacer, dans les fourneaux à cuve, le charbon par le bois, ou le coke par la houille crue.

C'est que le coke et la houille possèdent à peu près le même pouvoir calorifique, à poids égaux ; tandis que pour le bois et son charbon, c'est le rapport de 2 : 1, au moins.

Pris à volumes égaux, la différence dans les pouvoirs calorifiques entre la houille et le coke, est moindre, en général (et surtout pour les houilles peu bitumineuses), qu'entre le bois et le charbon.

Il suit de là, que, si, en carbonisant le bois, on perd beaucoup plus de matières inflammables que sur la houille que l'on convertit en coke, on se procure, du moins, dans le charbon de bois, un combustible bien plus énergique, c'est-à-dire pouvant produire, à égalité de poids, une cha-

(1) *Annales des mines*, 3e série, tome X, page 58.

leur double de celle du bois; et, sous un même volume (ou espace rempli), le charbon produisant plus de chaleur que le bois, celle-ci demeure concentrée dans le foyer (ce qui est bien souvent un point très-important), et y produit une très-haute température.

Après avoir carbonisé la houille, on n'a pas détruit autant de substance combustible qu'en opérant sur le bois; mais aussi on n'a pas gagné sensiblement, sous le rapport de la puissance calorifique, d'après ce que nous venons de dire; et, en les prenant au volume, la quantité de chaleur produite par le coke obtenu, ne sera guère que la moitié, tout au plus, de celle de la houille; mais, de même que pour le charbon, le coke, bien fabriqué et bien sec, brûle en développant toute sa chaleur, dans le foyer où il a été accumulé, sans qu'aucune substance vaporisable vienne la diminuer; de sorte que, en raison de sa densité plus grande que celle du charbon (au moins double), il peut produire une plus haute température que lui, et, lorsqu'il est bien pur, c'est un combustible extrêmement précieux, pour l'usage des fourneaux à courant d'air forcé.

On conçoit, d'après cela, pourquoi l'on doit trouver, dans la plupart des cas, plus de facilité, et même d'avantage, à substituer la houille crue au coke, dans les hauts-fourneaux, que le bois au charbon de bois.

On peut employer les combustibles dans 3 états.

Lorsqu'il s'agit de fourneaux à cuve, de foyers d'affinerie ou de chaufferie, et en général de fourneaux à courant d'air forcé, on conçoit trois états dans lesquels on peut employer les combustibles, pour les chauffer convenablement. :

1° A l'état carbonisé ou de charbon : c'est ainsi

qu'on les emploie généralement, et c'est le moyen le plus sûr, si ce n'est pas le plus économique, pour produire une très-haute température, dans un foyer;

2° Charger dans les fourneaux (et cela suppose toujours une cuve d'une certaine élévation) le combustible à son état naturel, avec ou sans dessiccation préalable, mais plus ou moins divisé mécaniquement;

3° Enfin, la carbonisation préalable peut n'être que partielle, ou incomplète, laissant à dessein, et particulièrement dans le bois, une partie des composants volatils; c'est du bois *torréfié*, ou *à demi-carbonisé*, dont les propriétés et la valeur, comme combustible, diffèrent de celles du bois et du charbon parfait.

Nous n'avons rien à dire sur l'emploi du charbon ordinaire dont les effets, dans les divers fourneaux et foyers, sont suffisamment connus; ils serviront de terme de comparaison pour apprécier les autres.

Nous n'aurons donc qu'à nous occuper des deux autres états du bois et de la houille, sous le rapport de leur emploi dans les hauts-fourneaux à fer.

Lorsqu'il s'agit d'une opération aussi compliquée et aussi délicate que l'est la formation de la fonte (et surtout des diverses espèces de fonte) dans les hauts-fourneaux où l'on traite les minerais de fer, dont la composition et l'état physique ne sont pas les mêmes partout, et dont les facilités de fusion, de réduction, de combinaison, entre leurs éléments, autres que l'oxide de fer, sont fort différentes, il faut interroger l'expérience, et avoir recours à des essais, dont on fera

varier les circonstances, si l'on veut connaître les effets que produiront les combustibles, pris dans les divers états dont nous venons de parler, et chargés dans ces fourneaux.

Des causes des anomalies observées dans l'emploi des combustibles à leur état naturel.

Nous rapporterons tous les résultats qui sont venus à notre connaissance, bien qu'ils ne paraissent pas toujours concordants; car c'est précisément ce défaut d'uniformité dans les phénomènes, dont il importe de chercher les causes, afin d'expliquer ce qu'on a observé, et de prévoir ce qui pourra arriver, dans des circonstances données.

Je ne répéterai pas ce que j'ai dit ailleurs (1) à ce sujet, il suffit de rappeler ce qu'on peut appeler un axiome, en pareille matière, savoir: « qu'un combustible, à quelqu'état qu'il ait été chargé, dans un fourneau à cuve, et surtout dans un haut-fourneau à fer, où il a besoin d'une température fort élevée (2), ne peut produire un bon travail que lorsque, *à son arrivée dans le foyer ou ouvrage* (SCHMELZRAUM), *il se trouve complétement carbonisé.* » Je regarde cette assertion comme un principe, parce qu'elle résulte nécessairement de la nature des choses, et qu'on ne pourrait guère concevoir qu'il en fût autrement: en effet, la haute température qui a lieu au-dessus du point de fusion, ne peut évidemment

---

(1) *Rapport*, etc., Ann. des mines, 3e série, tom. VII, pag. 31; et *Nouveaux procédés pour fabriquer la fonte et le fer*, etc., pag. 95 à 105.

(2) Ce n'est pas le cas des fourneaux écossais employés pour réduire la litharge, etc.; ni de quelques autres bas fourneaux où la chaleur peut rester faible, sans inconvénient.

laisser de parties vaporisables, au combustible parvenu en cet endroit du fourneau (1).

Or, on conçoit d'ailleurs que les dispositions de l'intérieur des fourneaux, la manière dont la chaleur s'y produit et s'y distribue, et d'autres circonstances encore, puissent ne pas être également propres à favoriser ce changement du combustible, cette carbonisation à l'intérieur, et à l'opérer précisément dans l'endroit où le dégagement des vapeurs ne peut diminuer la température de l'ouvrage; c'est là, ce me semble, la cause la plus ordinaire des anomalies que l'on a observées; viennent ensuite les différences que présentent les combustibles, sous le rapport de leur conversion en charbon, plus ou moins facile, plus ou moins prompte ou complète, à de certaines températures: pour le bois, le degré d'humidité; pour les houilles, la composition ou la nature plus ou moins bitumineuse, et une autre propriété dont nous parlerons bientôt. Il n'y a pas lieu de s'étonner, d'après cela, des effets différents, produits dans les fourneaux, par les divers combustibles qu'on a essayés d'y employer à leur état naturel; on sait quelle est l'influence des propriétés physiques et chimiques du combustible sur la quantité des matières qui seront fondues, la rapidité de la fusion et la nature du produit; tous les fondeurs s'accordent pour reconnaître que la qualité des charbons et des cokes

(1) Si l'on en voulait une preuve directe, à l'égard de la houille, chargée crue dans un haut-fourneau, et lorsqu'elle y produit un bon effet, on la trouverait dans ce fait observé à Kœnigshütte en Silésie, « que les cokes sortis de l'intérieur du fourneau, en nettoyant le creuset, avaient le même aspect que ceux que l'on retirait ordinairement de l'avant-creuset. » Voyez *Nouveaux procédés*, etc.

employés est de la plus grande importance dans la fusion des minerais, et que la consommation qu'on en fait (évaluée au poids), est en raison de la qualité qu'on leur a reconnue pour cet usage : il est tout simple que ces mêmes influences se fassent sentir avec les combustibles non carbonisés.

Les avantages, que peuvent présenter les combustibles employés à leur état naturel, dans les usines, sont de diverses espèces, et bien souvent dépendent de la situation de celles-ci : les prix de ces combustibles, les frais de leurs transports, etc., sont à considérer, lorsque d'ailleurs on a constaté de bons effets pour les uns ou les autres.

Il y a donc deux sortes de considérations à examiner : la première et la plus importante, en général, est celle du résultat métallurgique; s'il n'est pas bon, il n'y a plus rien à faire ; s'il est satisfaisant, et selon le plus ou le moins d'avantage qu'on y verra, on peut faire des dépenses plus ou moins fortes, pour se procurer le combustible qui a le mieux réussi, pour établir les appareils les plus convenables, etc., etc.

Nous n'avons, en ce moment, à nous occuper que des considérations métallurgiques qui dominent toutes les autres, en faisant remarquer toutefois qu'on ne peut espérer de voir employer les procédés reconnus comme ne donnant lieu qu'à une consommation *minimum* de bois ou de houille (ce qui est le but important pour le public), que quand l'intérêt particulier sera satisfait, c'est-à-dire quand il y aura un bénéfice réel, une diminution sensible dans le prix de revient de la tonne de fonte ou de fer fabriqués; il faut donc trouver et propager les moyens d'obtenir ce résultat dans le plus grand nombre des localités,

si l'on veut arriver à obtenir une réduction notable sur la quantité de bois consommée annuellement, dans les usines à fer du royaume, ou bien faire porter toute la consommation sur la fabrication de la fonte.

De l'emploi du combustible végétal, dans divers états.

La rareté toujours croissante du bois a fait songer depuis longtemps à le remplacer par le combustible minéral; et, en ce qui concerne la fabrication du fer, si on y a réussi complétement par les procédés dus aux Anglais, ce n'est point cependant sans qu'il en soit résulté des inconvéniens relativement à la qualité de ce métal; mais on parvient, à l'aide d'une substitution partielle et convenablement entendue, c'est-à-dire en employant l'un des combustibles à de certaines opérations, et l'autre à d'autres, à obtenir un produit d'une qualité comparable à celle des fers ordinaires, fabriqués entièrement avec du charbon de bois; cela est, ou peut être fort avantageux dans certains pays (et c'est le cas où se trouvent les usines du royaume), où il faut soutenir une concurrence permanente avec les fers de cette dernière sorte. Il y a donc lieu d'examiner les diverses parties de la fabrication, sous le rapport de l'espèce de combustible qui peut y être employée avec le moins d'inconvénient, et le plus d'économie. Du combustible végétal.

Nous nous occuperons de ce dernier objet avec d'autant plus de soin qu'on n'en est plus aux essais, et que l'on pratique maintenant un procédé *mixte* (sous le rapport des combustibles végétal et minéral) qui est fort avantageux, et

doit nécessairement être adopté dans la plupart de nos usines du centre de la France, ainsi que nous l'avons déjà annoncé.

Nous commencerons par les procédés les plus simples, et en suivant les diverses transformations que subit le fer contenu dans les minerais, et qui passe à l'état de fonte, puis à celui de fer malléable.

Le bois, lorsqu'il n'est pas converti en charbon, peut être et a été réellement employé, du moins comme essai, dans trois états différents : 1° dans son état naturel, et plus ou moins sec, suivant le temps écoulé depuis qu'il a été abattu ; 2° desséché artificiellement ; 3° enfin amené à un état de carbonisation plus ou moins avancé, au moyen d'une sorte de distillation ou de torréfaction. Souvent on a mélangé le combustible, ainsi préparé, avec du charbon de bois, et en diverses proportions ; dans tous les cas, le bois doit être divisé, scié ou coupé à une petite longueur, et bien souvent aussi refendu en bûchettes.

1° De l'emploi du bois à son état naturel, dans les hauts-fourneaux.

Lorsqu'on veut employer le bois en nature dans les hauts-fourneaux à fer, seul ou mélangé avec le charbon, faut-il qu'il soit sec, et même desséché artificiellement, ainsi que le recommande M. Lampadius (1)? ou bien peut-on l'introduire humide ou vert, et en obtenir cependant le même effet métallurgique? Si l'expérience montre que le bois desséché produit plus d'effet, sans qu'il soit indispensable de l'employer en cet état, y a-t-il des cas où il soit plus avantageux que tout autre, et eu égard aux frais de préparation

(1) Dans son mémoire sur l'*Emploi des combustibles à l'état naturel, dans les fourneaux*. Journal de Erdman.

qu'il peut exiger? N'y a-t-il pas sous ce rapport, des différences entre les bois durs et les bois tendres? entre les bois qui sont résineux et ceux qui ne le sont pas, surtout lorsqu'il s'agit de les employer seuls et sans mélange de charbon, à la fusion des minerais de fer? Enfin, la projection de l'air chauffé peut-elle influer sur le succès de l'emploi du bois en nature?

Il serait difficile, en ce moment, de répondre d'une manière satisfaisante à ces diverses questions, et nous devons attendre que les résultats des essais que l'on a faits et que l'on varie chaque jour, soient plus nombreux et mieux connus qu'ils ne le sont aujourd'hui.

Mais on peut demander, et la solution importe dès à présent, sur quoi est fondé l'espoir d'obtenir, par le procédé dont il s'agit, une économie notable sur le bois que l'on consomme actuellement pour fabriquer une tonne de fonte, en l'employant à l'état de charbon? C'est tout simplement, ce me semble, sur l'avantage (la plus grande quantité de charbon) qui résultera de la carbonisation qui aura lieu dans la cuve du fourneau, sur ce même bois chargé par le gueulard, et le produit de la carbonisation en meule; la différence peut être énorme, et comme dans le rapport de 30 à 17 ou même à 15, en prenant le charbon au poids; c'est presque du simple au double: on conçoit que, dans l'intérieur et surtout dans les parties supérieures d'un haut-fourneau, les circonstances soient des plus favorables pour opérer (presque sans déchet sur le carbone) la carbonisation du bois, et l'on peut présumer qu'elle s'y fera lentement, par une température régulièrement croissante, et au milieu d'un courant de gaz que l'on peut supposer dé-

pourvu d'oxygène libre ; enfin, comme on l'a dit (1), les gaz combustibles qui se dégagent par la distillation du bois, sont peut-être employés à réduire l'oxide de fer des minerais, et c'est autant de charbon de moins de consommé pour cet objet.

On conçoit donc ainsi que, pour des poids égaux de bois employés ou chargés à l'état de charbon et à l'état de bois supposé sec, il arrivera dans l'ouvrage et il s'y trouvera pour fondre le minerai, bien plus de charbon dans le second cas que dans le premier. Toutefois, comme nous ne savons guère ce qui se passe dans un fourneau, que nous ne pouvons suivre les altérations successives qu'y éprouvera le bois ou la houille qu'on y versera; enfin, que ces changements et leurs résultats varieront en raison de circonstances inconnues; il faut en appeler à l'expérience, et désirer qu'on multiplie les essais et les observations sur cet objet important.

Nous serons très-brefs en cette matière, tant parce que les documents sont peu nombreux, que parce que M. l'ingénieur Bineau remplit actuellement une mission spéciale dans le but d'étudier ce que l'on fait dans nos usines, et de recueillir des renseignements précis sur l'emploi du combustible végétal, dans ses divers états, pour fabriquer la fonte et le fer en barres.

De l'emploi du bois seul.

Il y a, en Russie, des fourneaux à fer, dans lesquels, à ce qu'il paraît, on ne charge que du bois qui n'a subi aucune préparation; c'est du bois résineux dont on arrange des bûches (2)

(1) M. Lampadius (Mémoire cité).

(2) De la longueur de $1^m,42$, qui est celle de la section horizontale du ventre; ses parois sont verticales et hautes

dans le gueulard, de manière à ce que le minerai, que l'on verse dessus, ne passe pas immédiatement dans les interstices de ces morceaux ; on rejette d'ailleurs de ce bois tout ce qui est trop menu et d'une forme par trop irrégulière. On a cité le fourneau de Sombula, en Finlande, et celui de Petrozawodsk, qui a été construit sur le modèle du premier, dans l'usine impériale du même nom.

Dans le dernier (1), on traite des minerais que nous nommons minerais des prairies et des lacs (*morasteisenstein* et *seerz*), que l'on doit regarder comme très-aisément fusibles, surtout celui-ci, s'ils ressemblent à ceux que l'on fond en Suède.

Dans le fourneau de Sombula, la consommation du bois est très-grande, et l'on ne trouverait aucun avantage à l'employer en nature, s'il n'était amené à l'usine, par flottage.

Le fourneau de Petrozawodsk consomme des bois de pin et de sapin, dont un certain volume porte plus de minerai que n'aurait pu le faire la quantité de charbon qu'il aurait produit par la carbonisation ordinaire : cet avantage est dans le rapport de 3 : 2, environ, pour les minerais les plus aisément fusibles, et de 2 : 1 pour ceux qui le sont moins. On rapporte que, après un certain temps, lorsque la machine soufflante donna moins de vent, parce qu'elle dut fournir de l'air à d'autres fourneaux, cet avantage se trouva moindre ; la même quantité de bois

---

de 3m,91 (*Traité de chimie* de M. Dumas, tome IV, pag. 661).

(1) D'après M. Lampadius, dans le Journal de Erdman, 1re série, tom. XI, pag. 337.

ne put fondre que 9 pieds cubes de minerai, au lieu de 12; « mais il y avait toujours économie d'*un quart* sur la quantité de charbon qui aurait été consommée, si l'on avait employé la même quantité de bois, convertie préalablement en charbon. »

Ainsi, par le fait même de l'emploi du bois en nature, dans le fourneau dont il s'agit, la consommation du combustible végétal s'est trouvée réduite d'un quart; et, avec la même quantité qui serait consommée par l'ancien procédé, on peut alimenter quatre fourneaux, au lieu de trois, et fabriquer un quart de fonte en sus.

Sans prétendre qu'on doive s'arrêter à ces nombres, toujours plus ou moins incertains, à cause des supputations qu'on est obligé de faire pour réduire, par la pensée, le bois en charbon, ou réciproquement, il semble qu'on ne peut s'empêcher d'admettre qu'il y a eu une économie certaine de bois, dans le fourneau dont nous parlons.

Des essais faits en 1833, dans les usines de la Silésie prussienne, à Malapane et à Creutzbourg, et dont j'ai rapporté ailleurs (1) les détails, d'après M. l'ingénieur des mines Gruner, montrèrent seulement la possibilité de faire de bonnes opérations de fonte, dans les hauts-fourneaux à fer ordinaires (2), et d'en obtenir des produits d'une

---

(1) *Nouveaux procédés pour fabriquer la fonte et le fer.*

(2) On a bien réussi, en Russie, pour le traitement des minerais de cuivre, dans des fourneaux de forme quadrangulaire, où les bûches s'arrangeaient très-bien, etc.

excellente qualité, et en travaillant à l'air froid; mais on n'y trouva pas d'avantage, ainsi qu'on va le voir.

Le bois de Pinastre (*wilde fichte*), découpé en morceaux de 6 pouces de longueur et de 1 pouce carré de section, fut chargé dans le fourneau, et, après divers tâtonnements, on put obtenir de la fonte grise, en consommant un volume de ce combustible plus que double de celui du charbon que l'on brûle ordinairement, pour obtenir la même quantité de fonte de même nature.

Or, la carbonisation, en meule, de ce même bois, produit plus de 50 pour 100 de charbon, mesurant au volume; et les frais de cette opération sont moindres que ceux résultant du sciage et du fendage des bûches: il faut encore ajouter un surcroît de dépenses pour le transport du bois à l'usine.

Ainsi, ces essais n'ont donné ni économie de combustible, ni diminution dans le prix de revient de la fonte.

Il resterait à reconnaître quelle modification l'emploi de l'air chaud pourrait apporter aux résultats précédents (1), on a dû s'en occuper en 1834; mais nous ne connaissons rien de ce qui a été fait à cet égard, dans cette usine.

---

(1) On observa, à l'air froid, que les charges descendaient plus rapidement qu'avec le charbon, et cela malgré la diminution que l'on crut devoir faire dans la pression du vent: enfin, on reconnut que la température du fourneau était trop forte, dans la partie supérieure où le bois brûlait inutilement, tandis qu'elle était trop faible dans l'ouvrage, lorsqu'on ne forçait pas la charge en combustible. La chaleur fut tellement intense au gueulard, que les plaques qui s'y trouvent commençaient à se fondre.

Du mélange de bois et de charbon.

Aux États-Unis d'Amérique, on a employé, dans quelques fourneaux, le bois en nature, mais toujours mélangé avec du charbon de bois, qui formait les deux tiers (en volume) de la charge. On n'a pas pu aller au delà de cette proportion, sans altérer la marche du fourneau.

Le charbon pouvait être remplacé par un volume égal de bois (chêne ou hêtre), et qui n'avait pas été desséché (1). On a trouvé que l'allure du fourneau de West-Point, dont il s'agit ici, était plus régulière qu'avec le charbon de bois seul; le produit journalier était aussi plus considérable.

Le directeur de cette usine pensait que ces résultats avantageux étaient dus, en grande partie, à ce que le mélange du bois avec le charbon (de très-médiocre qualité) formait un ensemble plus perméable à l'air injecté par les tuyères. On peut, sans doute, croire à l'influence de cet effet mécanique, mais il y a certainement d'autres circonstances à considérer pour expliquer le résultat métallurgique qu'on a obtenu à West-Point. Enfin, on regardait la grandeur du fourneau (qui a 11 mèt. de hauteur, et 4 mètres de diamètre au ventre) comme une circonstance indispensable au succès de l'emploi du bois en nature.

Le fourneau de Stockbridge, à l'air chaud, mais plus petit que le précédent, a aussi paru fondre les minerais de fer avec plus d'avantage, lorsqu'on a mélangé, dans les charges, du bois dans une proportion au-dessous du tiers du volume

---

(1) Mémoire de M. Chevalier. *Annales des mines*, 3ᵉ série, tom. IX, pag. 157.

total, que lorsqu'on n'employait que du charbon seul.

Malheureusement, on ne saurait tirer de conséquence bien certaine de ces résultats, parce que les charbons étant tous mal fabriqués et de mauvaise qualité, l'emploi du bois a pu procurer des avantages économiques qui ne se retrouveraient plus dans les contrées où la carbonisation est passablement exécutée, et le charbon meilleur qu'aux Etats-Unis.

On fait maintenant, dans les usines à fer du royaume, beaucoup d'essais pour remplacer, en partie du moins, le charbon par du bois diversement préparé et dans l'espoir de diminuer la consommation de ce combustible, dans les opérations de la fabrication du fer. Je me contenterai de rapporter quelques-uns des résultats qui m'ont été communiqués dans les forges que j'ai visitées cette année.

Dans l'un des hauts-fourneaux à l'air froid de Clerval (Doubs), appartenant à MM. Bouchot frères, le bois en nature et non desséché, était employé (depuis 10 ou 12 jours seulement, lors de mon passage), mais mélangé avec du charbon ordinaire, à la proportion de 1 : 2, en volume; on comptait qu'il fallait deux mesures de bois pour en remplacer une de charbon, et, jusque-là, on n'avait pas essayé d'augmenter la dose de bois. On conçoit que l'avantage économique ne peut pas être bien grand, puisque le bois rend souvent à la carbonisation 40 pour 100 de son volume, en charbon, et quelquefois plus de 50; il faut ajouter ensuite les frais de découpage et ceux de transport; il est vrai que la rivière du Doubs amène le combustible sans beaucoup de dépenses.

On était satisfait de la marche du fourneau, qui produisait de bonne fonte de moulage; il se dégageait au gueulard, et peu après le chargement, une grande quantité de gaz combustibles, auxquels on pouvait mettre le feu, et alors la flamme répandait une forte chaleur tout autour de l'orifice du fourneau, sans être lumineuse, du moins pendant le jour.

Le haut-fourneau de Masvaux (Haut-Rhin), à l'air chaud, et qui travaille en fonte de moulage pour seconde fusion, ayant été alimenté par du bois à demi-carbonisé, ce combustible ne donna pas un bon résultat; on observa qu'il brûlait principalement dans la partie supérieure du fourneau, et laissait l'ouvrage trop froid; la fonte était blanche, et l'allure mauvaise : on essaya d'employer le bois en nature en le mêlant avec le charbon ordinaire dans les charges, et à volume égal; la fonte fut très-grise, la marche du fourneau régulière, et le produit journalier ne fut pas diminué. Trois mesures de bois (en morceaux assez gros, mais sciés à 6 pouces de longueur, à peu près comme à Clerval) remplaçaient deux mesures de charbon; ce qui est plus avantageux que dans le fourneau précédent : est-ce à la projection de l'air chauffé qu'est dû ce résultat? C'est ce qu'on ne peut encore décider (1). Il y

(1) Dans ce même fourneau (ainsi que dans quelques autres) on préfère le bois vert au bois sec; on dit que c'est parce qu'il ne brûle pas dans la partie supérieure du fourneau : cela peut bien être, mais ne serait-ce pas aussi parce que le bois vert donne généralement plus de charbon, et un charbon moins friable que le bois sec, ainsi qu'on l'a reconnu dans certaines localités, en opérant la carbonisation en meules?

avait d'ailleurs, et eu égard aux frais accessoires, peu d'avantage pécuniaire, mais d'autres circonstances donnaient de l'importance à cette manière de procéder.

Ces renseignements m'ont été communiqués sur les lieux par M. Gennot, directeur, à Masvaux, et M. Stellin de Bittchwiller.

De l'emploi du bois desséché artificiellement.

Je n'ai presque rien à dire de ce procédé fort nouveau, et que je n'ai pas vu pratiquer, bien qu'il le soit dans diverses usines de la Haute-Saône, appartenant à M. Gauthier. Il a été abandonné par M. Duplessis, à Seveux.

2° Du bois desséché.

Il faut donc attendre encore pour admettre comme certaine, l'économie que l'on dit qu'il procure sur le bois consommé à l'état de charbon. Ce bois est desséché, tantôt au moyen d'air préalablement échauffé, que l'on oblige à traverser des chambres où l'on a entassé le bois; tantôt directement avec les flammes du gueulard. Il est ensuite chargé, mélangé avec du charbon dans les hauts-fourneaux, et même dans les feux d'affinerie, à de certaines époques de l'opération.

Les résultats de la mission actuelle de M. l'ingénieur Bineau nous donneront, sans doute, des notions exactes sur ces procédés, et motiveront le jugement qu'on en doit porter, tant sous le rapport des résultats métallurgiques que sur ses avantages définitifs.

De l'emploi du bois torréfié ou à demi-carbonisé.

Du bois à demi carbonisé.

Le procédé consiste à opérer une carbonisation peu avancée, sur du bois découpé en bûchettes, et renfermé dans des caisses en fonte chauffées par la flamme du gueulard. Il a été décrit plusieurs fois, et en dernier lieu par M. l'ingénieur Sauvage, dans un très-bon mémoire (1). On charge le combustible ainsi préparé, immédiatement dans les fourneaux, et on en a obtenu de fort bons résultats métallurgiques, dans quelques usines que j'ai visitées; on n'en a pas été aussi satisfait dans d'autres, mais sans qu'on ait pu jusqu'ici assigner une cause à ces différences. Peut-être qu'un examen bien fait des circonstances et des observations qui ont eu lieu dernièrement dans les usines de Hayange (et où l'on n'a pas cru devoir continuer de se servir de ce nouveau procédé), pourrait éclaircir la question; mais elles nous sont inconnues.

Pour le moment, nous nous occuperons des résultats obtenus pour le haut-fourneau de Haraucourt (près de Sédan), qui travaille constamment à l'air froid, et en fonte grise, pour le moulage en première fusion. Il est bien constaté qu'en même temps que la nature de la fonte n'a pas changé, que la marche du fourneau a été meilleure et plus régulière, l'économie sur le bois consommé a été d'un sixième, en employant dans les charges le bois torréfié pour les $\frac{2}{3}$ en volume.

On en conclut, par supputation, et en s'ap-

(1) *Annales des mines*, 3e série, tom. XI, pag. 527.

puyant d'ailleurs sur ce qui a lieu dans les usines de Montblainville, etc., que l'on épargnerait un tiers du bois, si la totalité de chaque charge était faite avec le bois à demi-carbonisé, c'est-à-dire sans mélange de charbon ordinaire.

M. Sauvage explique cette économie en considérant que le charbon *roux*, ou bois torréfié, dont il a étudié les propriétés avec un grand soin, possède une plus grande densité que le charbon noir, et un pouvoir calorifique égal : il en résulte que, pour un même volume, le charbon roux produit un plus grand effet calorifique que l'autre; or, puisque le bois amené à l'état de charbon roux en fournit nécessairement une bien plus grande quantité (soit qu'on le prenne au poids, soit qu'on le prenne au volume) que de l'autre charbon, il paraît tout simple que l'on consomme moins de bois, en l'employant dans le premier état, que converti en charbon ordinaire.

Cette explication est fort plausible, elle est fondée sur des faits, et on l'admettra généralement : cependant elle est sujette à quelques difficultés qu'il ne faut pas dissimuler; elle suppose une circonstance qui n'est pas prouvée, et bien loin de là, qui est en opposition avec ce que l'on sait, ou ce que l'on imagine qui se passe dans les foyers où l'on brûle des combustibles renfermant des composants volatils. On suppose, dans l'explication précédente, que la combustion des parties fixes, comme celle des éléments vaporisables, s'opère au même endroit, c'est-à-dire que le charbon roux arrive en entier, et sans avoir subi de décomposition ou distillation, jusqu'au point où doit avoir lieu le maximum de température,

et s'y brûle complétement; enfin que la chaleur produite par les deux sortes d'éléments dont il est composé, concourt au même effet calorifique, ou à l'élévation de la température du foyer : or, c'est évidemment ce qui ne saurait être ; la combustion, ou tout au moins le dégagement des parties volatiles auront lieu d'abord, de toute nécessité, et au-dessus de l'endroit où brûlera la partie fixe; de plus, la vaporisation de celles-là, qui s'opérera nécessairement avant leur combustion, refroidira la portion du fourneau où elle s'effectuera, et il est à désirer que ce soit loin du point où l'on veut produire la plus haute température.

On a bien dit (1), il est vrai, « qu'on pouvait, par torréfaction, amener le bois à un état où il peut produire, à volume égal, *le maximum de température dans un* FOURNEAU FERMÉ : c'est encore là une déduction de l'égalité des pouvoirs calorifiques ; mais ce n'est pas tout que cette égalité, et je viens d'en donner la raison, pour le cas où il s'agit d'un foyer fermé. La houille a un plus grand pouvoir calorifique que le coke ; elle a une bien plus grande densité, et cependant c'est toujours, et, avec raison, que l'on choisit celui-ci, lorsqu'on veut produire une très-haute température, comme dans les fourneaux d'essais, dans les cubilots peu élevés, etc. (2). Faut-il ajouter que

(1) *Traité des essais*, tom. I, pag. 276.

(2) Il aurait été bien facile de vérifier cette assertion par une expérience directe, en employant le charbon roux dans le fourneau d'essai, et pour fondre des minerais de fer. Pour ma part, je doute beaucoup qu'on en eût obtenu la même température qu'avec le charbon de bois, et surtout qu'avec le coke, dont le pouvoir calorifique et même la densité diffèrent peu de ceux du charbon roux.

les *fumerons* produits dans *les meules*, en même temps que le véritable charbon, ont été rejetés pendant longtemps, pour l'usage des hauts-fourneaux, et que si, en raison du prix élevé du combustible végétal et des abus auxquels cela donnait lieu, on les emploie aujourd'hui, ce n'est que par petites portions avec le charbon, et en les considérant toujours comme un mauvais combustible ; cependant quelle différence faire entre ces fumerons et le bois à demi-carbonisé ?

Toutefois, et malgré ces difficultés bien réelles, je crois que l'on peut admettre, d'après divers faits métallurgiques bien constatés, que dans certains cas, la combustion des parties volatiles d'un combustible peut venir en aide à celle des parties fixes, et contribuer par la chaleur qu'elles produiront, à augmenter la température d'un foyer, bien que ces parties dussent être vaporisées (1) et s'être séparées ou dégagées, avant d'arriver dans ce dernier, lorsqu'on les a chargées au-dessus de lui.

Peut-être faut-il chercher ailleurs la cause principale des effets du bois torréfié, de même que du bois chargé dans son état naturel, et aussi pour la houille employée crue dans les hauts-fourneaux, et s'arrêter à cette idée déjà émise d'une carbonisation exécutée dans l'intérieur des fourneaux élevés, dans des circonstances plus favorables que dans les meules, et de manière à produire beaucoup plus de charbon ou de coke, et d'éviter en même

(1) On peut penser aussi que les gaz combustibles servant à opérer, en partie, la réduction des oxides métalliques, contribuent à diminuer la quantité de charbon consommé : c'est ce qu'indique M. Lampadius.

temps, tous les déchets qui ont lieu pendant les transports et dans les magasins (1); tout porte à croire, en effet, que, dans la plupart des cas, le produit en charbon peut être presque double, ainsi qu'on l'a vu, pour le bois de celui qu'on obtient des meules; l'effet métallurgique, rapporté au bois, peut donc être considérablement augmenté par-là.

Mais il faut bien admettre aussi que la carbonisation intérieure ne s'exécute pas toujours (et par suite de circonstances peu connues) aussi régulièrement et aussi complétement que nous venons de le supposer : on cite des essais dans lesquels le combustible, chargé cru dans des fourneaux élevés, bois ou houille, est arrivé presque sans avoir éprouvé aucun changement de nature, dans l'ouvrage, tout auprès des tuyères, et par conséquent il en est résulté le plus mauvais effet.

S'il était bien constaté maintenant, par l'expérience, ainsi qu'on me l'a assuré, que l'emploi du bois torréfié est d'autant plus avantageux que la carbonisation en est plus avancée, et qu'il faille laisser chauffer ce combustible dans les caisses pendant 10 heures, au lieu de 4 ou 5 qui avaient été employées juqu'ici, il faudrait reconnaître que le procédé de M. Houzeau Muiron se réduirait à exécuter la carbonisation du bois dans des vases fermés, à l'aide de la chaleur du gueulard du fourneau pour lequel on prépare le charbon, au fur et à mesure du besoin : c'est, au reste, sous ce point de vue que l'on considère le procédé dont il s'agit, dans quelques usines où l'on en fait établir les appareils.

Je ne suis point touché, je l'avoue, des suppositions que l'on a faites relativement à l'emploi du

(1) Point d'humidité dans le charbon ainsi formé.

bois en nature, dans les hauts-fourneaux, et qui s'appliqueraient tout aussi bien, ce me semble, au bois à demi-carbonisé, savoir que le charbon parfait ne peut se former dans l'intérieur des fourneaux où l'on charge du bois; que ce charbon serait très-friable, facilement écrasé, et même en partie brûlé, avant d'arriver dans l'ouvrage, etc.; je crois que tout cela peut avoir lieu, mais que ce n'est pas un résultat nécessaire de l'emploi des combustibles plus ou moins desséchés, torréfiés ou carbonisés; et que les causes des effets divers produits par ces combustibles, doivent être recherchées ailleurs que dans l'état où ils sont introduits dans les charges.

Si l'emploi du bois torréfié ou *charbon roux*, qui n'a pas réussi partout (1) était cependant reconnu pour un procédé généralement avantageux, et préférable à l'usage (partiel) du bois en nature, il resterait encore à trouver le moyen de le préparer dans les forêts, sur les lieux où l'on exploite le bois, et dans des appareils peu dispendieux, faciles à déplacer, afin de diminuer les frais de transport sur le combustible, et de laisser libre la flamme des gueulards, qui peut recevoir des applications plus utiles; la chaleur nécessaire à l'opération serait produite par la combustion de branchages et autres débris sans valeur. On a fait quelques essais dans ce but, à Hayange, mais sans en avoir obtenu des résultats satisfaisants.

On assure que le bois à demi-carbonisé est employé dans les feux d'affinerie, et à peu près avec le même avantage que dans les hauts-fourneaux.

(1) On a observé que, dans quelques hauts-fourneaux, il brûlait trop haut, et laissait l'*ouvrage*, froid, d'où résultait de la fonte blanche, au lieu de la fonte grise qu'on obtenait avec le charbon ordinaire.

De l'emploi de la houille crue dans les hauts-fourneaux.

En partant des notions théoriques que nous possédons sur ce combustible, et remarquant que la houille possède à peu près le même pouvoir calorifique que le coke (1), on est porté à penser que la substitution de l'une à l'autre, dans les hauts-fourneaux à fer, doit avoir moins d'inconvénient que celle du bois, au charbon de bois.

Il en a été réellement ainsi dans quelques localités, bien que, comme nous l'avons déjà fait observer pour le combustible végétal, la condition de l'égalité entre les pouvoirs calorifiques, dans les combustibles substitués l'un à l'autre, ne soit ni la seule, ni même la plus importante des conditions qu'il faille chercher à remplir, dans le cas dont il s'agit.

C'est, comme on sait, dans le pays de Galles que l'on a commencé à remplacer le coke, par de la houille crue, et qu'on en a obtenu le plus de succès pour fabriquer, avec l'air froid, de la fonte de forge; à Decazeville, en 1834, et depuis lors, on a fondu à l'air froid, avec de la houille crue. Il y en a bien d'autres exemples, en Ecosse et ailleurs, dans les fourneaux qui reçoivent de l'air chauffé.

La nature de la houille doit nécessairement avoir une grande influence sur la possibilité d'abord, et ensuite sur les avantages, que l'on trouvera à l'employer crue dans les fourneaux; enfin,

(1) Il est un peu plus grand dans la houille.

l'élévation de ceux-ci, et la quantité comme la vitesse de l'air qu'on y projette, sont aussi à considérer.

Rapportons quelques exemples de l'influence des propriétés de la houille.

Celle qui est bitumineuse et très-collante ne convient pas du tout pour cet usage, et doit nécessairement être convertie en coke, avant d'être chargée dans les hauts-fourneaux; et en effet, on voit, en Angleterre, des usines où l'on emploie la houille à l'état cru, lorsqu'elle est sèche, tandis que l'on carbonise, pour la charger à l'état de coke, celle qui est bitumineuse.

En 1833, on fit, à Gleiwitz, en Silésie, des essais pour employer, sans carbonisation préalable, de la houille grasse dans les hauts-fourneaux à l'air froid, dans lesquels on fond habituellement avec du coke : j'en ai donné ailleurs (1) le détail, d'après M. l'ingénieur des mines Gruner; il suffit de dire ici qu'il se forma des voûtes dans l'intérieur du fourneau, qui empêchaient par moment le dégagement des gaz, d'où résultaient des explosions très-fortes, qui lançaient des charbons enflammés et du minerai au-dessus des murs d'enceinte de la plate-forme du gueulard; on ne put prolonger ces essais que pendant quatre jours, les explosions continuant toujours d'avoir lieu.

Avec de la houille plus dense et moins bitumineuse, on obtint de bien meilleurs résultats, dans l'une de ces usines royales, à Kœnnigshütte (2); voici ce qu'on observa :

« La houille crue, chargée *à volume égal* (à celui du coke, qui formait précédemment la

(1) *Nouveaux procédés pour fabriquer de la fonte*, etc., pag. 101.
(2) *Idem*, pag. 99.

charge en combustible) *put fondre une plus grande quantité de matières que le coke; elle produisit une allure plus chaude qu'à l'ordinaire* (1). Il n'y eut pas d'explosion; la flamme du gueulard fut très-vive et sortait du fourneau avec une extrême vitesse; on augmenta la charge en minerai, pour prévenir une allure trop chaude; la fonte fut bonne pour le moulage en deuxième fusion; on en obtint aussi de bon fer par l'affinage, mais l'opération fut longue. »

Dans un autre essai, fait avec les mêmes matières et dans le même fourneau, on obtint, par une bonne allure, de la fonte d'un grain fin et mat, dont l'éclat était à peine métallique, qui toutefois était bonne pour le moulage; mais par l'affinage qui en fut fait (au feu d'affinerie) *au charbon de bois*, la marche de l'opération fut très-crue, et le fer très-mauvais. Les barres présentaient dans leur cassure un grain fin, sans nerf. »

A Decazeville, la houille crue a remplacé le coke, à peu près poids pour poids; cependant il en faut un peu plus de la première, et lorsque le fourneau se refroidit, par l'effet d'une cause quel-

(1) On conçoit que la houille remplaçant le coke, volume pour volume, ait pu produire une allure plus chaude que ce dernier; celle employée à Kœnigshütte est dense et compacte, et rend 70 pour 100 en coke, sans changer sensiblement de volume, à la carbonisation : en supposant même qu'en se transformant en coke, dans l'intérieur du fourneau, elle n'en ait pas produit plus que dans sa carbonisation ordinaire exécutée à l'extérieur, il reste encore à ajouter la chaleur qu'ont pu donner les gaz et vapeurs combustibles, en brûlant au moyen de l'excès d'air qui se trouve toujours dans les fourneaux à coke, bien plus que dans les fourneaux à charbon de bois. D'ailleurs cette houille peut être assimilée au bois à demi-carbonisé.

conque, c'est en faisant plusieurs charges avec du coke seul, qu'on en rétablit l'allure.

L'avantage métallurgique qui résultera de l'emploi de la houille crue comparé à celui du coke, dépendra des quantités (poids) qu'il en faudra charger pour fondre une même masse de matières, ou, en d'autres termes, du rapport existant entre leurs *facultés de porter des minerais*; or ces facultés sont très-différentes pour diverses espèces de cokes (1), et il en doit être de même à l'égard des houilles, dont la composition et les propriétés sont, comme on sait, très-variées dans les différentes couches des mines.

C'est en raison des propriétés des divers cokes, de leur cohérence, de leur densité, de leur facilité de combustion, de la quantité de cendres qu'ils contiennent, etc., qu'ils peuvent fondre plus ou moins de minerais, et il n'y a que des essais effectués dans de grands fourneaux, qui puissent faire connaître ce qu'on doit en attendre à cet égard; la différence peut dépasser celle du simple au double, comme on l'a vu par les résultats d'essais faits en Angleterre, pays où l'on ne fixe jamais les prix relatifs des cokes de diverses houilles, qu'après vérification faite de leurs effets dans les hauts-fourneaux; si, lors de l'établissement des grandes usines à l'anglaise, que nous voyons maintenant en France, on eût ainsi procédé, au lieu de s'en tenir à des essais de carbonisation, constatant ce que la houille pouvait donner de coke, on aurait évité bien des mécomptes et bien des pertes.

On doit remarquer que c'est la nature du coke

(1) Il est probable qu'elles ne sont pas proportionnelles aux pouvoirs calorifiques des combustibles employés dans les hauts-fourneaux.

(et il en est de même pour la houille crue) que l'on emploie dans les charges, qui influe le plus sur la consommation du combustible, rapportée au mille de matières fondues, et en outre sur le produit journalier des fourneaux, à richesse égale des mélanges; car c'est bien en raison de leurs propriétés, que les cokes divers peuvent supporter des quantités de vent et des pressions d'air (ou vitesses) plus ou moins grandes, ce qui est, comme on sait, la condition essentielle d'une descente rapide des charges et d'un grand produit (1); la quantité de vent se trouvant toujours limitée par la qualité du combustible, et peut-être aussi par d'autres circonstances mal connues.

Dans quelques-unes de nos usines, au Creusot, à Alais et peut-être ailleurs (2), on n'a pu, avec les houilles dont on dispose, en composer la charge complète des hauts-fourneaux; tandis qu'à Decazeville, la substitution a été bientôt totale, et sans qu'il en soit résulté de dérangement dans la marche du fourneau, ni de changement notable dans leur produit journalier, ou dans la qualité de la fonte (de forge) qu'on obtenait avec le coke; au Creusot, comme à Alais, on n'a pas pu introduire plus de moitié de houille crue, dans les charges, sans que le produit journalier, qui n'est

(1) Dans nos grands fourneaux au coke (à l'air froid), de même que dans ceux de la Silésie, le produit journalier ne dépasse guère six tonnes de fonte; avec des minerais très-riches, on allait à sept tonnes à la Voulte, et, passé cela, le métal obtenu donnait beaucoup trop de déchet à l'affinage. En Belgique et dans le pays de Galles, le produit des fourneaux est presque généralement double du précédent. On donne pour cause première de cette différence, la qualité de la houille, et par suite celle du coke dont on se sert.

(2) Dans des fourneaux à l'air froid.

pas fort considérable à l'ordinaire, ne diminuât très promptement; le fourneau se refroidissait notablement, et il fallait le réchauffer avec du coke.

La même chose est arrivée dans les essais de fonte de minerais de fer spathique, faits à Vizille, en 1827, avec l'anthracite de Lamure.

On doit admettre que ce résultat dépend principalement de la nature de la houille employée, et probablement de ce qu'elle se délite ou décrépite à la chaleur, comme le fait ordinairement l'anthracite; enfin, de ce qu'elle se réduit en poussière, pour la plus grande partie, ce qui est, comme on sait, un immense inconvénient, dans les fourneaux à courant d'air forcé.

On peut se demander si l'emploi de l'air chauffé ne pourrait pas modifier ou changer notablement ce résultat? On a cru, dans les premiers temps où ce procédé fut mis en usage, qu'il était indispensable pour pouvoir employer avec avantage la houille crue, dans les hauts-fourneaux; mais l'exemple de ce qui a eu lieu dans le pays de Galles, a fait voir qu'il en était autrement: celui de Decazeville est venu confirmer le premier, et pour des houilles sans doute bien différentes. On doit croire seulement que, pour des combustibles fort difficiles à brûler, comme sont les anthracites, l'action de l'air préalablement échauffé, pourra produire un bon effet dans les fourneaux où on les charge. J'ai appris dernièrement qu'il y avait des houilles ou anthracites, en Angleterre (Galles méridionale), qu'on ne pouvait employer crues, qu'avec le secours de l'air chauffé.

Cependant, il semble que ce procédé ne peut rien contre la réduction du combustible

en poussière, dans l'intérieur d'un fourneau.

Nous pensons, du reste, que, pour la houille comme pour le bois, qu'on emploie dans leur état naturel, l'effet calorifique produit dans l'*ouvrage* des fourneaux ne l'est, et ne peut l'être convenablement, que lorsque ces combustibles y arrivent carbonisés complétement, c'est-à-dire parfaitement dépouillés de tout composant volatil (1); et que l'avantage métallurgique qui résulte de cette manière d'opérer tient uniquement à ce que le coke formé à l'intérieur, et par la chaleur de la cuve (au lieu de l'être à l'extérieur, et dans des circonstances moins favorables) se trouve en bien plus grande quantité que celle qui lui correspond, ou serait produite par le même poids de houille qui a été chargée crue (2); de là, économie sur la houille consommée, suppression des frais de carbonisation et des appareils et fourneaux toujours embarrassants et coûteux, en raison de leur nombre.

On voit par là que, quand la houille en nature

---

(1) Il s'agit des fourneaux élevés, et qui doivent prendre une haute température vers la tuyère; car ni la houille crue, ni même un coke imparfaitement carbonisé, ne conviendraient dans un cubilot de 6 à 7 pieds de hauteur.

On sait que le coke provenant des usines à gaz blanchit la fonte dans les cubilots, et qu'on ne peut en passer que de petites quantités avec de bon coke, si l'on veut conserver au métal sa couleur grise, sa douceur, etc.

Toutefois la houille crue a bien réussi, et est employée depuis assez longtemps, en Silésie, pour fondre des minerais de plomb. (Voyez *Nouveaux procédés*, etc., pag. 102.)

(2) En outre, il n'y a pas de ces déchets qui ont lieu dans les transports et les magasins, et qui sont énormes sur les cokes friables; point d'humidité à vaporiser; moitié moins de cendres à fondre, quand on remplace le coke, poids pour poids, par la houille.

réussit bien dans les hauts-fourneaux, il doit y avoir, en général, des avantages notables à l'employer.

Résumons donc les conditions qui ont paru jusqu'ici devoir se trouver réunies dans une houille, pour assurer ce succès; elles sont au nombre de trois :

1° La houille ne doit pas être trop bitumineuse ou collante, ainsi qu'on l'a vu précédemment : celle qui perd peu par la carbonisation, et qui donnerait un coke fritté, paraît devoir être la plus convenable.

2° La houille en poussière ou en menu, ou seulement en petits fragments d'une grosseur au-dessous de celle d'un œuf, quelle que soit d'ailleurs sa nature, ne peut être employée crue, dans les hauts fourneaux : le mélange de gros et de menu, ne convient pas davantage, et il faut séparer cette dernière sorte.

Il arrive bien souvent que le prix de la houille en morceaux (1) est trop élevé pour qu'on puisse l'employer avec avantage dans les fourneaux, et pour fabriquer de la fonte : c'est ce qui a lieu pour les usines des environs de Saint-Etienne, celles de Vienne, de la Voulte et autres; car le prix de la tonne de coke, fait avec du menu, y est moins élevé que celui de la houille en morceaux dont on pourrait se servir. La fabrication du coke est d'ailleurs le meilleur moyen (presque le seul) de tirer parti de la houille en poussière, lorsqu'elle est collante, sans être cependant de première qualité pour la forge. Il en est autrement à Decazeville, et même au Creusot et à Alais, où le mélange de la houille crue et en morceaux, dans les charges produit toujours une diminution dans le prix de revient de la fonte.

(1) Pérat et Grèle, à Rive-de-Gier.

3° Enfin, la houille ne doit pas se réduire en poussière dans les fourneaux, quelle qu'en soit la cause (1). La friabilité du coke et du charbon de bois est reconnue de même, pour être fort nuisible dans les hauts-fourneaux, et empêche ces combustibles de porter autant de minerai qu'ils le feraient, s'ils étaient plus fermes et plus denses.

L'influence de ces diverses propriétés de la houille sur l'allure plus chaude ou plus froide des hauts-fourneaux est évidente, et confirmée par l'expérience; mais, pour en apprécier toute l'étendue, il faut se rappeler que la quantité et la qualité de la fonte produite, dépendent essentiellement de la régularité de cette allure et de la température du fourneau.

A l'égard de la fonte de forge, il ne paraît pas que, dans les usines où l'on emploie habituellement de la houille crue, la qualité du métal ait éprouvé aucune détérioration, en raison du contact de ce combustible; et, en effet, relativement au soufre qui peut s'y trouver, la différence entre le coke et la houille qui le produit, n'est pas assez grande pour que la fonte soit plus pure, dans un cas que dans l'autre.

Quant à la fonte de moulage, qui demande une allure constamment chaude et soutenue, et dont les propriétés, ainsi que la fabrication, sont en général plus délicates, et demandent plus de soins que l'autre, il pourrait y avoir quelques inconvénients, ou du moins plus de difficultés,

(1) Ces houilles sont généralement comprises dans le genre, dont M. Karsten dit, qu'elles donnent un *coke pulvérulent; et peut-être surtout dans celles désignées par M. l'ingénieur Regnault, sous le nom de houilles sèches à longue flamme* (page 209 de ce tome XII).

pour obtenir toujours un bon produit avec de la houille crue. Je ne connais pas d'exemple de cette fabrication, ni aucune indication de ce qu'il faut faire pour réussir promptement et complétement dans ce cas; ce que nous avons rapporté des essais faits en 1833, dans les usines royales de la Silésie prussienne, semble annoncer qu'on peut former de bonne fonte de moulage, en fondant des minerais de bonne qualité, avec de la houille en nature.

§ V. *De l'emploi des flammes perdues des fourneaux à fer, pour concourir à la production des effets métallurgiques.*

Des flammes perdues des hauts fourneaux.

L'air qui a servi à la combustion, dans l'intérieur des fourneaux, ayant été épuisé d'oxigène libre, en sort mélangé avec tous les gaz et les vapeurs formés pendant l'opération, et emporte avec lui une certaine quantité de chaleur, indiquée par la température qu'il possède au gueulard. Le renouvellement continuel et très-rapide de l'air atmosphérique, lancé en grande quantité, et avec beaucoup de vitesse, dans les hauts-fourneaux à fer, par de puissantes machines soufflantes, produit une combustion très-rapide, une haute température dans leur intérieur, et une grande quantité de substances aériformes (gaz et vapeurs), plus ou moins échauffées, qui viennent brûler en partie à l'extérieur. C'est là ce qui constitue *les flammes perdues* des fourneaux, très-bien nommées, puisqu'on les a laissé perdre en totalité, jusqu'à ces derniers temps.

Les effets calorifiques qu'on en peut obtenir, ou la chaleur qu'elles renferment, dérivent de deux sources différentes, qu'il est d'ailleurs toujours facile de faire concourir au même but : la chaleur qui se manifeste par la température

existant au moment de la sortie du gaz (1), et celle qui sera ou pourra être produite par une combustion complète et bien dirigée des gaz et vapeurs combustibles qu'elles contiennent, en forte proportion; malheureusement l'une et l'autre de ces sources de chaleur sont variables, et d'une appréciation très-difficile.

Chaleur sensible ou thermométrique.

La chaleur entraînée, celle qui est sensible et que l'on pourrait évaluer par la température des gaz et vapeurs au sortir du gueulard, et en supposant que l'on pût mesurer la quantité de ceux-ci, présente de grandes différences, non-seulement d'un fourneau à un autre, mais encore dans les diverses circonstances de la marche d'un même fourneau. On conçoit, en effet, que la température conservée par ces résidus gazeux, dépendra, à la fois, et de l'énergie de la combustion intérieure et de la proportion de l'air introduit avec la masse à brûler, dans un temps donné; enfin, des occasions de refroidissement qui se seront manifestées (2):

(1) Il faut considérer cette température 10 minutes, ou environ, après que le chargement a été fait, afin que l'humidité des minerais, et en partie celle des charbons, soit dégagée, et même que le premier effet de refroidissement soit passé; il est vrai qu'alors commence à s'établir une combustion de gaz au gueulard, et que la température y augmente en raison de cela.

(2) La température de ces gaz, au sortir de *l'ouvrage* d'un haut-fourneau, est nécessairement la même que celle qui a lieu dans cet espace; mais ils se refroidissent considérablement et progressivement, à mesure qu'ils rencontrent et traversent les charges qui remplissent la cuve; de sorte qu'après avoir touché les plus récentes, ils peuvent se trouver presque entièrement froids; mais en se refroidissant, ils réchauffent celles-ci par leur contact, et cet effet est non-seulement utile, mais indispensable pour obtenir une très-haute température dans l'ouvrage.

mais une autre cause de cette température, très-influente et mal connue dans son principe, résulte de ce que le combustible (ou une portion du moins) brûle à une hauteur plus ou moins grande, dans la cuve. Il y a des fourneaux qui montrent toujours, ou du moins très-souvent, une forte chaleur au gueulard; on dit alors que le charbon y brûle trop haut(1), et, dans ce cas, il arrive en même temps que l'ouvrage reste froid. On regarde généralement comme défectueuse, ou du moins comme peu économique, la marche des fourneaux où l'on observe beaucoup de chaleur au gueulard; celui-ci doit demeurer sensiblement froid. On attribue ces différences à la forme intérieure du fourneau, lorsque d'ailleurs, on donne le vent en quantité et sous une pression convenables et déterminées par l'expérience.

Des fourneaux où le combustible brûle trop haut.

Il paraît aussi que certains combustibles brûlent plus haut ou plus bas, dans les hauts-fourneaux, et donnent lieu, en raison de cela, à une température plus ou moins forte, dans les parties supérieures de ces appareils.

Les combustibles chargés à l'état naturel, c'est-à-dire contenant beaucoup de gaz inflammables faciles à dégager, donnent toujours une grande chaleur au gueulard; mais il n'est pas certain alors, que cet effet provienne de ce que le combustible brûle trop haut; car cela doit tenir,

(1) J'ai visité plusieurs usines, où l'on m'a dit avoir été dans le cas, pendant une grande sécheresse de l'été dernier, de mouiller le charbon, avant de le charger dans les hauts-fourneaux, et cela pour l'empêcher de brûler trop près du gueulard : on a recours à cet expédient, principalement pour les charbons récemment préparés, et surtout pour ceux fabriqués pendant les grandes chaleurs; il semble qu'ils sont alors trop secs et trop aisément combustibles pour l'usage des grands fourneaux.

en grande partie, à l'inflammation des gaz hydrogénés et des bitumes qui échappent aux premières impressions du feu, et viennent brûler au contact de l'air extérieur.

De la chaleur latente des flammes perdues.

Au reste, la chaleur sensible des flammes perdues des hauts-fourneaux, ne paraît être qu'une faible partie de la quantité totale qu'on en peut obtenir : il en est une autre que l'on peut appeler chaleur latente, bien plus abondante et bien plus énergique dans ses effets, et qui, exploitée avec habileté, peut fournir de grandes ressources à l'industrie du fer, ainsi qu'on va le voir : c'est celle qui peut être produite par la combustion des gaz et vapeurs combustibles qui sortent du fourneau.

La nature et surtout la quantité de ces gaz est nécessairement variable, dans les divers fourneaux, et, dans le même, suivant les circonstances de son allure; mais il suffit qu'il y en ait toujours une masse notable, qui se produise et s'écoule d'une manière continue, tant que le fourneau travaille, pour qu'on puisse en obtenir des effets importants et suivis; on peut d'ailleurs remédier ou suppléer facilement à l'insuffisance momentanée de la chaleur des flammes, dans ses applications, ainsi qu'on le verra par les descriptions particulières.

Les premières questions à faire à ce sujet sont les suivantes : quelle est la nature de ces gaz et vapeurs? Quelle est la quantité de ces matières combustibles qui sort du gueulard, dans un temps donné? Enfin, quelle est la quantité de chaleur, ou l'effet calorifique qu'on en peut obtenir, terme moyen, et comment la mesurer?

Malheureusement, il est impossible, quant à présent, de faire aucune réponse satisfaisante à ces diverses questions : nous nous bornerons donc

à l'indication des diverses espèces de gaz combustibles que l'on peut supposer exister dans les flammes perdues des hauts-fourneaux à fer, et nous rapporterons ensuite quelques faits dus à l'expérience ou à l'observation, et destinés à faire juger de la nature et de l'importance des applications que l'on commence à en faire, et de celles bien plus nombreuses que l'on fera par la suite, de ces flammes, pour diminuer la consommation des combustibles, dans la fabrication du fer.

Les gaz résidus d'une combustion qui ne peut pas être complète, dans les hauts-fourneaux, se composent principalement : 1° d'azote qui, comme on sait, ne joue qu'un rôle passif dans presque toutes les réactions de l'air atmosphérique ; 2° de gaz oxide de carbone, qui doit former la plus forte portion des gaz combustibles qui sortent des fourneaux où l'on brûle du charbon de bois ou du coke ; car l'acide carbonique qui a été produit par une combustion énergique du charbon, aux environs de la tuyère, et à la partie inférieure de l'appareil, est nécessairement décomposé, en traversant les lits de combustible qui remplissent la cuve sur une grande hauteur : on sait d'ailleurs que la réduction des oxides, par le charbon donne lieu à la production de ce même gaz.

Si l'on en juge d'après la quantité d'oxygène qu'il absorbe en brûlant, l'oxide de carbone doit développer la moitié de la chaleur que produirait un poids égal de charbon, en brûlant complétement, et de manière à être converti en entier, en acide carbonique. Ainsi donc, s'il était démontré qu'il n'y a pas une molécule de ce dernier gaz, dans les résidus aériformes qui s'échappent par le gueulard des hauts-fourneaux, il faudrait admettre que le charbon consommé dans ces appa-

reils, n'y a produit que la moitié de la chaleur qu'il pouvait donner; ou, ce qui est la même chose, théoriquement (sous le point vue unique de la chaleur développée), qu'on a détruit deux fois plus de charbon qu'il n'était nécessaire, pour produire la même quantité de chaleur, et cela seulement parce que le combustible n'a pas été brûlé complét ment; et qu'au lieu d'acide carbonique, c'est de l'oxide de carbone qui a été produit en définitive, et qui est sorti du fourneau (1) : or, ce résultat étant inévitable, et forcé comme conséquence des dispositions essentielles des hauts-fourneaux à fer, ceux-ci seront toujours des appareils fort défectueux sous ce rapport.

Toutefois, si on considère d'autres fourneaux employés en métallurgie et destinés à produire de très-hautes températures, en grand, tels que les fourneaux à réverbère, etc., on y reconnaît la même imperfection, et des pertes de chaleur toujours très-considérables.

Il ne reste donc pas d'autre moyen de tirer parti du combustible que l'on consomme dans ces divers appareils, que de compléter la combustion de celui-ci, en brûlant à part et d'une manière convenable, le gaz oxide de carbone et les autres vapeurs inflammables avec lesquelles il peut se

(1) On a dit, je crois, que les hauts-fourneaux à fer étaient des appareils où l'on fabriquait du gaz oxide de carbone; cela est *malheureusement* vrai, et, pour quelques-uns d'entre eux, peut-être en fabrique-t-on autant que de fonte : mais ce produit n'est ni utile, ni indispensable; et sous le rapport de la chaleur développée, et en supposant qu'elle pût être employée en totalité aux effets métallurgiques qu'il s'agit de produire, c'est l'occasion d'une perte mmense sur le combustible consommé pour faire de la onte.

trouver mélangé, et, en appliquant la chaleur des flammes perdues à produire des effets utiles.

On aperçoit d'abord que si l'on voulait établir des calculs sur les bases précédentes, c'est-à-dire sur la possibilité d'obtenir de la flamme une quantité de chaleur égale à celle qui a été développée dans l'intérieur du fourneau, ou équivalente à celle que donnerait, par l'effet d'une combustion complète, la moitié du charbon consommé journellement, dans les hauts-fourneaux, on arriverait à une somme énorme : ainsi, dans les fourneaux où l'on fabrique 3 tonnes de fonte par 24 heures, la consommation en charbon de bois peut être évaluée à 4,500 kilogrammes, dans ce même temps; dans ceux qui produisent 8 tonnes, à 12,000 kilogrammes; dans ceux enfin qui produisent 10, 12 ou 15 tonnes (ces derniers brûlant du coke) elle est souvent de 20, 24 ou 30,000 kilogrammes. La *moitié* de chacune de ces sommes est perdue actuellement; c'est donc, pour les fourneaux au charbon de bois, en moyenne, une perte d'environ 16 millions de calories; pour ceux au coke, d'un produit médiocre, de 31 millions; pour ceux de la Belgique, du pays de Galles, etc., travaillant en fonte de forge, de 95 millions, en 24 heures. Sans doute, ces résultats sont fort hypothétiques, et nous ne les présentons que pour indiquer l'importance de l'objet dont il s'agit : mais il faut pourtant remarquer que dans les évaluations précédentes, on n'a eu égard qu'à une seule cause productrice de la chaleur; et que, dans la réalité et dans l'application, il s'y ajoute naturellement toute la chaleur qui constitue celle de la température de ces flammes, et, en outre, celle qui proviendra des gaz et vapeurs inflammables, autres que l'oxide de carbone, et qui brûleront

La moitié du combustible chargé dans les hauts-fourneaux est perdue pour l'effet utile.

Quantité de combustible brûlée inutilement par chaque tonne de fonte produite, et par 24 heures dans chaque haut-fourneau à fer.

à l'extérieur; ce sont des gaz hydrogènes carbonés dont on ne peut même soupçonner (faute d'analyses) ni la quantité ni la composition ; mais dont les effets (la chaleur) s'ajouteront à ceux du gaz oxide de carbone.

La conclusion de tout ceci est que l'on peut espérer d'obtenir des flammes perdues des hauts-fourneaux, des effets calorifiques très-puissants et très-utiles. Nous allons appuyer ces considérations par des faits de pratique observés sur ce qui existe actuellement, mais dans un petit nombre d'usines et sur une bien petite échelle. Cela suffira toutefois pour confirmer pleinement ces aperçus.

3° Y a-t-il des gaz hydrogènes carbonés parmi les résidus de la combustion dans les hauts-fourneaux? Nous venons de dire que cela est probable : et, en effet, non-seulement l'hydrogène qui est resté dans le combustible (même dans celui qui a été carbonisé), mais encore l'eau hygrométrique ou combinée, qui doit se vaporiser et se décomposer en passant au milieu du charbon dont la cuve est remplie, et dans les endroits où la température est suffisamment élevée, donnera encore de l'hydrogène et de l'oxide de carbone.

En résumé, et si nos présomptions ne nous trompent point, relativement aux substances aériformes qui jouent un rôle et se montrent dans les hauts-fourneaux, il faut considérer qu'on y introduit par la tuyère, de l'air mélangé d'azote et d'oxygène libre, élément négatif de la combustion, et qu'il en sort un mélange du même gaz azote et de gaz combustibles, ces derniers étant un élément de combustion qui n'a pu être employé dans l'appareil, et qui attend un emploi utile au dehors, emploi qui ne peut manquer d'avoir lieu incessamment, et partout sur une grande échelle, en raison

des progrès des arts métallurgiques, vu le haut prix du combustible, et la nécessité d'en diminuer la consommation dans la fabrication du fer.

Tous ces résultats et tous ces effets seront évidemment encore bien plus marqués et bien plus puissants, lorsqu'on chargera dans les fourneaux des combustibles à l'état naturel, ou même à demi-carbonisés, et capables de donner de la flamme (1), au lieu de charbon ou de coke, mais nous ne connaissons pas d'applications de flammes perdues, faites dans ce cas, et qui puissent être indiquées à l'appui de ces assertions.

Des applications des flammes des gueulards des hts-fourneaux.

Jusqu'à ces dernières années (peut-être 1831 ou 1832) l'emploi des flammes perdues des hauts-fourneaux à fer était resté fort borné : M. Aubertot, maître de forges à Vierzon, avait établi (en

(1) J'ai eu occasion dernièrement de reconnaître l'intensité, bien plus grande, de la flamme produite par le bois à l'état naturel, chargé avec mélange de charbon, à Clerval (Doubs). Quelques minutes après que la charge eut été faite, il se dégagea beaucoup de gaz auxquels on mit le feu, et qui, à en juger par le peu de lumière qu'on apercevait (en plein jour il est vrai), et par la grande chaleur que l'on ressentait autour du gueulard, devaient consister, en partie, en hydrogène peu carboné. Pendant la nuit, la lumière est très-notable. Je ne sais pas, d'ailleurs, si ce grand dégagement de gaz et cet accroissement de chaleur, se soutiennent pendant bien longtemps.

Nous voyons aussi, dans l'exposé des résultats obtenus en 1833, dans les usines royales de la Silésie, que lorsqu'on essaya de remplacer, dans les charges, la totalité du charbon par du bois en nature, la flamme et la chaleur, au gueulard, furent si fortes, que la couronne en fonte, qui s'y trouvait, fut sur le point d'être fondue.

J'ai remarqué de même, à Decazeville, en 1834, qu'avec la houille crue, chargée dans les fourneaux, la flamme et la chaleur du gueulard étaient bien autrement intenses qu'avec le coke.

1806) des fours à chaux et à briques qui étaient chauffés par les flammes de ses fourneaux; il avait aussi indiqué quelques autres applications utiles de cette même chaleur (1); mais ces procédés ne se sont guère étendus, peut-être à cause du peu d'importance des applications; on prétendit aussi que ces fours accessoires nuisaient à la marche du fourneau, et occasionnaient une plus grande consommation de charbon : cependant depuis une douzaine d'années, on était revenu de ces préventions, et quelques fourneaux en France, un plus grand nombre en Allemagne, profitaient de la chaleur du gueulard pour faire cuire de la pierre à chaux ou des briques; on en a aussi fait usage pour griller des minerais de fer, à Bendorf, à Masvaux et à Bitschwiller, en se servant d'espèces de fours à chaux.

Depuis qu'on a découvert le procédé de l'air chaud, et qu'on l'a appliqué à la fabrication de la fonte de fer, on a imaginé de chauffer cet air au gueulard, pour les fourneaux à charbon de bois seulement, et rien n'est en effet plus convenable, puisqu'on épargne ainsi toute nouvelle dépense de combustible, et qu'on porte aisément le vent, à la température la plus avantageuse dans ces fourneaux (2).

Mais l'application la plus importante qu'on ait faite de cette chaleur du gueulard, celle qui doit

---

(1) *Journal des mines*, tom. XXXV, pag. 375-390.

(2) J'ai vu (1837) dans l'usine de MM. Neehr, près de Schaffouse, un four à chaux (ayant la forme d'un four à réverbère à sole fort allongée et recouverte d'une voûte très-surbaissée); à la suite de ce four se trouvait un appareil à chauffer l'air, et le tout était convenablement échauffé par la flamme d'un haut-fourneau.

le plus influer sur l'avenir des forges et sur la fabrication du fer, particulièrement lorsqu'on se sert du combustible végétal, c'est au chauffage des chaudières de machines à vapeur ; celles-ci étant destinées à mettre en jeu la soufflerie, et à fournir, en toute saison, à chaque fourneau, tout le vent dont ils ont ou peuvent avoir besoin.

On voit tout de suite comment une semblable innovation (et qui, je le crois, a pris naissance en France) (1) va établir l'indépendance des hauts-fourneaux à l'égard des cours d'eau, permettre de les placer au milieu des forêts, ou du moins à la portée et le plus près possible du combustible ; enfin, on pourra probablement, et sans difficultés, leur faire produire journellement une quantité de fonte double et peut-être quelquefois triple de celle qu'ils donnent communément, en augmentant leurs dimensions et le volume d'air qu'ils reçoivent (2).

---

(1) Depuis plus de dix ans, on emploie la flamme des fourneaux à réverbère à chauffer des chaudières de machines à vapeur : on en voit des exemples en Angleterre et en France, à Imphi (Nièvre), à la Bassindre (Loire-Inférieure), à Raisme (Nord), et récemment à Montataire (Oise). Nous y reviendrons dans la deuxième partie de ce mémoire. La transformation de l'effet calorifique de toutes les flammes perdues des divers fourneaux, et même des fours à coke, en puissance motrice, par l'intermédiaire de la vapeur d'eau, est un des objets les plus importants dont les métallurgistes puissent s'occuper en ce moment.

(2) Les grands fourneaux de Hayange, lorsqu'on y brûle du charbon de bois, produisent (1836) jusqu'à huit tonnes de fonte d'affinage par 24 heures. Il y a aussi des exemples déjà fort anciens (qui datent de trente ans, au moins) de fourneaux à fer en Sibérie, ayant une hauteur de 15 mètres, et une largeur proportionnée, qui produisent, dit-on, des quantités considérables de fonte, par 24 heures.

On a commencé par établir des machines au gueulard, d'abord pour suppléer à la faiblesse des cours d'eau, en certaines saisons; puis on a construit des fourneaux qui sont alimentés d'air uniquement par ces machines, comme on l'a fait à Niederbronn, en 1837; nous verrons que la chaleur des gaz et flammes sortant d'un seul haut-fourneau peut suffire à fournir du vent à plusieurs de ces appareils.

Puisque les résultats théoriques nous manquent pour évaluer la puissance calorifique des flammes perdues des hauts-fourneaux, de même que pour tous les appareils où l'on brûle du combustible en grand, nous allons chercher à en apprécier les effets, lorsqu'on les a transformées en forces motrices, en les employant à former de la vapeur d'eau : malheureusement les applications dont nous avons eu connaissance, étant en petit nombre, et le plus souvent assez mal dirigées, sont loin de donner la mesure de toute la puissance mécanique qu'on peut obtenir de ces flammes.

Une des premières machines à vapeur établies au gueulard d'un haut-fourneau, et pour lui fournir de l'air, en cas d'insuffisance du cours d'eau, est celle d'Échallonge près de Gray, qui fonctionne depuis 1833 ou 1834; elle est de la force de six chevaux, sans condenseur; la chaudière est à bouilleurs qui sont continuellement environnés et échauffés par les flammes du fourneau; elle fournit, ou peut fournir, 500 p. cub. d'air par minute. On y a joint des foyers supplémentaires pour pouvoir la faire travailler, dans le cas où, par suite d'une interruption dans le fondage, les flammes du gueulard viendraient à manquer.

La chaudière à vapeur est placée auprès du gueulard (et il en doit toujours être ainsi), tandis que la machine est établie, ainsi que les cylindres soufflants, sur le sol de l'usine ; la vapeur est conduite au piston moteur, dans un tuyau de tôle enveloppé de lisière de drap. Lorsqu'il y a un plateau ou sol ferme, au niveau de la charge, on peut trouver quelque avantage à y établir toute la machinerie.

Une chaudière à vapeur a été établie au gueulard de l'un des fourneaux de Clerval (Doubs); on trouvait (juillet 1837) que la chaleur des flammes était insuffisante pour produire une force de huit chevaux ; et, en conséquence, on brûlait de la houille sous une autre chaudière ; cependant on voyait s'échapper au dehors, et faute de bonnes dispositions pour la faire entrer, plus de la moitié de ces flammes.

A Mutterhausen, une machine de huit chevaux, est placée au gueulard ; elle marche bien, et on laisse perdre volontairement la moitié au moins des flammes.

Dernièrement (août 1837), à Niederbronn, on a établi une machine à vapeur de la force de 18 chevaux, et pour donner le vent à un nouveau haut-fourneau. M. Robin, ancien élève de l'école des mines et directeur de cette usine, ayant bien voulu me communiquer les dessins de toutes les dispositions qu'il a fait exécuter, nous pourrons plus tard les faire connaître en détail ; mais, ce qui est plus important pour l'objet qui nous occupe actuellement, ce sont les expériences qu'il a faites pour mesurer exactement le pouvoir calorifique ou plutôt la puissance mécanique que peuvent pro-

duire les flammes perdues d'un haut-fourneau au charbon de bois (1).

Voici les résultats de ses recherches, tels qu'il me les a donnés lui-même (22 octobre 1837).

« Depuis cinq semaines que le fourneau est à » feu, la machine à vapeur fonctionne parfaitement » bien. Pour la mettre en activité, on a consommé » très-peu de houille; depuis lors, elle a continué de » marcher avec la flamme du fourneau, sans qu'on » ait eu besoin d'avoir recours une seule fois, aux » grilles de secours. Loin delà, on a sans cesse » été obligé de laisser échapper la plus grande » partie de la flamme du gueulard, par la che- » minée.

» Depuis quelques jours que le fourneau est en » plein roulement, j'ai fait une suite d'expé- » riences pour connaître la puissance dont la » flamme est capable, et je suis parvenu, en ayant » égard aux quantités d'eau vaporisées et aux » tensions de la vapeur, à ce résultat remar- » quable, qu'elle représente une force de 54 à 73 » chevaux, suivant l'allure plus ou moins chaude » du fourneau (2).

Évaluation de la force motrice que l'on peut produire avec les flammes perdues des hts-fourneaux à fer.

(1) Tous les fourneaux auxquels on a jusqu'ici ajouté des machines au gueulard, sont à l'air froid. Il faudrait des dispositions particulières pour chauffer l'air, en même temps, et avec les mêmes flammes; mais certainement il est possible de produire simultanément ces deux effets.

(2) Je ne sais si je commets une indiscrétion, en publiant cette communication confidentielle due à l'amitié de M. Robin. Peut-être ce résultat paraîtra-t-il exagéré; peut-être de nouvelles expériences sont-elles nécessaires pour parvenir à une évaluation plus exacte; mais la conclusion générale n'en est pas moins certaine, et des métallurgistes fort éclairés, bien qu'ils n'aient pu faire aucune expérience directe, pensent que la chaleur des flammes

» De cette force énorme, nous n'utilisons guère
» que neuf chevaux.

» On voit donc quel parti étonnant il est pos-
» sible de tirer d'un élément qui, jusqu'à cette
» heure, a été négligé dans les usines : ce résultat
» donne aussi une idée de la grande quantité de
» combustible qui est consommée sans utilité
» pour l'opération métallurgique. »

Nous verrons que, pour les feux d'affineries, et bien que les circonstances ne soient pas les mêmes que dans les hauts-fourneaux, surtout pour déterminer la conversion de l'acide carbonique en gaz oxide de carbone, il y a cependant des flammes capables de produire des effets calorifiques considérables et fort utiles. Jusqu'ici on ne les a employées qu'à chauffer des espèces de fours à réverbère où l'on réchauffe de la fonte et du fer, soit pour l'étirer en petites barres, soit pour le convertir en tôle, etc., comme nous le verrons dans la seconde partie de ce mémoire.

Il est sans doute inutile de dire que la chaleur qu'on se procurera avec les flammes des hauts-fourneaux et feux d'affinerie, cubilots, etc., ou seulement l'excédant de cette chaleur, après qu'on aura chauffé l'air, fourni le vent nécessaire, peut-être encore desséché ou torréfié le bois pour les charges, pourra être employé à former de la vapeur motrice; et la force qu'on en obtiendra pourra servir à mettre en mouvement des trains de laminoirs, et surtout ces marteaux à volant dont on m'a

---

perdues des hauts-fourneaux au charbon de bois, appliquée à des machines à vapeur soufflantes, est suffisante pour fournir du vent à trois ou quatre fourneaux de même grandeur.

paru très-satisfait, dans quelques forges de la Champagne.

Observations sur les moyens à employer pour brûler les gaz combustibles.

Nous terminerons par quelques observations critiques sur la manière dont on cherche à faire brûler les parties combustibles des flammes : dans quelques usines, on laisse l'air extérieur se mélanger avec la flamme, au sortir du gueulard, et par conséquent sans s'être réservé aucun moyen d'en régler l'introduction ; ailleurs, on voit des ouvertures toujours béantes (comme dans l'appareil de chauffage pour l'air, à Wasseralfingen) qui donnent accès à l'air, et souvent à une assez grande distance du point de l'émission de la flamme;..... tout cela peut suffire lorsqu'on se contente d'employer seulement un huitième ou un dixième de la chaleur que l'on pourrait développer ; mais bientôt il en sera tout autrement; et alors, on aura à déterminer: 1° la proportion la plus convenable d'air qu'il faut introduire et mélanger avec les flammes pour les faire brûler complétement, et, en définitive, en obtenir le maximum de la quantité de chaleur qu'elles peuvent produire. On sait qu'un trop grand excès d'air produit un refroidissement qui n'est plus compensé par l'effet d'une combustion plus complète des gaz.

2° Il faudra chercher quel est l'endroit de l'appareil où il convient le mieux de faire arriver l'air extérieur, en ayant soin que la température y soit toujours suffisamment élevée, pour déterminer, ou pour y continuer l'inflammation.

3° Enfin on pourra, en dirigeant l'introduction de l'air au milieu des flammes et des gaz combustibles échauffés, étendre ou porter la chaleur qu'ils sont capables de produire, à des distances plus ou moins grandes du foyer, en rehaus-

ser la température, en certains endroits, etc., suivant les effets que l'on veut en obtenir.

Tous ces objets, et les dispositions qui s'y rapportent, sont des matières neuves ou à peu près, et qui se recommandent particulièrement à l'attention des praticiens.

De l'emploi des flammes perdues des hauts-fourneaux qui consomment du coke ou de la houille crue.

On ne connaît guère d'exemples de l'emploi des flammes du gueulard des fourneaux à coke : M. Dufrénoy (1) rapporte que l'essai fait en Angleterre, à la forge de Wenesbury, pour chauffer le vent, au moyen de la chaleur qui sort du fourneau, n'eut pas de succès, et qu'il fallut ajouter un foyer spécial, pour porter le vent à une température suffisante; elle n'était que de 182° c. : cette application fut abandonnée, ou n'eut pas d'imitateurs. Il semblerait tout naturel d'en conclure que cette chaleur se trouva insuffisante pour cet objet; mais je crois que ce serait une erreur grave (2).

Les considérations que nous avons exposées

(1) Dans son mémoire sur *l'air chaud*, publié en1834, page 49-52.

(2) Je supposerais plutôt que la distance qui sépare le gueulard de la tuyère étant assez grande dans ces fourneaux, la température de l'air s'était fort affaiblie; ou bien que l'appareil était mal disposé.

Ce qu'il y a de certain, c'est que les fourneaux de Hayange, dont l'un a 40 pieds d'élévation, lorsqu'on y charge du coke seul en remplacement de charbon de bois, chauffent également l'air dont ils sont alimentés, et par un appareil placé au gueulard.

precédemment, à l'occasion des fourneaux à charbon de bois, sont également applicables à ceux qui brûlent des combustibles minéraux : il y a même lieu de croire qu'en raison d'une plus grande consommation de coke, par heure ou par tonne de fonte produite, il s'y forme une bien plus grande masse de gaz oxide de carbone, que dans les autres fourneaux; leurs flammes perdues, plus abondantes, pourraient donc produire plus de chaleur : toutefois, il est juste de ne pas oublier que, la masse d'air lancée dans ces fourneaux étant toujours plus considérable, relativement à la quantité de fonte obtenue, que dans les fourneaux à charbon de bois, il peut se faire que les gaz combustibles qui sortent du gueulard, soient mélangés d'azote en plus forte proportion, et par cela seul soient moins aisément inflammables que les autres; mais toujours demeure-t-il certain que leur quantité, prise dans un temps donné, est bien plus considérable que dans les fourneaux à charbon de bois; et qu'on laisse perdre dans les uns, comme dans les autres, et se répandre dans l'atmosphère, un immense volume de gaz et vapeurs combustibles, dont la puissance calorifique équivaut, ainsi que nous l'avons montré, à la moitié de celle du combustible consumé annuellement dans le fourneau : il faudra bien finir par en tirer un parti utile (1), et le moment paraît être arrivé.

(1) Le célèbre Fourcroy nous disait, à l'école Polytechnique, il y a trente ans, que toute fumée sortant d'une cheminée accusait notre ignorance. Que doit-on penser en visitant une usine à fer, pendant la nuit, et en voyant sortir des hauts-fourneaux, et de chacun des

Les principales difficultés, qui ont pu s'opposer jusqu'ici à l'emploi des flammes des fourneaux à coke, résultent sans doute de l'élévation de ceux-ci, ce qui rend un peu plus coûteux l'établissement des appareils de chauffage, qui doivent toujours être fort rapprochés de leur sommet ; lorsque ces fourneaux sont isolés, comme en Belgique, il y a bien quelque embarras à ce sujet ; mais en France, où l'on voit dans presque toutes les usines à l'anglaise, des terrasses et des espaces libres, au niveau du gueulard des fourneaux, il y a plus de facilités, et cependant on n'a pas fait davantage pour employer les flammes perdues. Reconnaissons donc que c'est par incurie, par l'habitude où l'on est de voir consommer d'immenses quantités de houille dans ces usines, qu'on n'a fait aucun effort, aucun essai pour en tirer tout le parti possible ; l'imitation de ce qui se passe en Angleterre, où l'on donne si peu de soins à l'économie de la houille, a pu être funeste sous ce rapport ; mais les circonstances ne sont pas les mêmes en France, ni en Belgique, où la houille, propre à donner du coke, est rare et chère, et où il n'est plus permis de négliger une telle source de chaleur.

Parmi les applications que l'on peut faire des flammes perdues des fourneaux à coke, on doit indiquer d'abord celle qui réussit si bien pour les fourneaux à charbon de bois, savoir d'employer la force motrice qu'elles peuvent produire, à renforcer les machines soufflantes, généralement trop

---

nombreux fours à réverbère qui les accompagnent souvent, non pas de la fumée, mais des torrents de flamme qui se dissipent en pure perte dans l'atmosphère ?

faibles dans nos usines, et pour faire produire aux fourneaux une masse de fonte égale à celle des fourneaux du pays de Galles et des environs de Charleroy.

DE L'ÉTAT
DE LA FABRICATION DU FER,
ET
DE L'AVENIR DES FORGES.

DEUXIÈME PARTIE.

DE LA FABRICATION DU FER EN BARRES, AVEC DIVERSES ESPÈCES DE FONTES, ET PAR DIFFÉRENTS PROCÉDÉS.

La fabrication du fer en barres, qui consiste toujours (excepté dans les forges à la catalane) dans l'affinage de la fonte, doit être dirigée suivant deux points de vue assez distincts, quoiqu'ils soient dans une dépendance mutuelle : une grande économie dans les frais de fabrication, ce qui tend à abaisser le prix de revient; et la meilleure qualité du fer, ce qui tend à en élever le prix de vente.

La nature, et surtout le degré de pureté de la fonte que l'on convertit en fer, et qui dépend elle-même de la composition des minerais qui l'ont produite, est un des points les plus importants, lorsqu'on veut fabriquer de bon fer; et la fonte au charbon de bois obtiendrait presque toujours la préférence pour cet usage, si elle n'était généralement bien plus chère que celle formée dans les fourneaux à coke; mais cette importance, attribuée à la qualité de la fonte, suppose que le combustible avec lequel le métal se trouvera en contact, dans le cours des opérations de

l'affinage, ne contiendra lui-même aucune substance nuisible : ici encore, le charbon de bois est le seul qui remplisse toujours cette condition. Quand on veut affiner la fonte (même celle au coke), avec du combustible minéral, houille ou tourbe, il faut éviter ce contact, du moins dans les circonstances où il est le plus nuisible, et c'est principalement en cela que la méthode d'affinage dite *anglaise*, diffère de l'ancien affinage, dans les feux d'affinerie, au charbon de bois. On sait d'ailleurs que, sous le rapport de la qualité, le fer fabriqué par ce dernier procédé, est resté bien supérieur à celui obtenu par les nouvelles méthodes, surtout lorsqu'on a employé de la fonte au charbon de bois.

Ainsi, la qualité du fer, que l'on obtiendra d'une fonte donnée, dépendra toujours, sans doute, plus ou moins, de sa composition, mais aussi du mode d'affinage qui aura été suivi, et en outre de diverses pratiques ou manipulations exécutées convenablement, et variées selon la nature des fontes et les substances étrangères qu'elles renferment.

Quand la fonte est pure, il n'y a aucune difficulté à en obtenir de bon fer, pourvu que le contact du combustible ne le gâte pas ; si elle est médiocre, il y a quelques moyens, à la vérité plus ou moins imparfaits et dispendieux, d'en obtenir un fer assez bon : tantôt il suffit de donner plus de soin à l'exécution des opérations, tantôt il faut pour quelques-unes de celles-ci, en prolonger la durée ; d'autres fois enfin, il faut les répéter plusieurs fois, sur la même masse de métal ; mais, de ces diverses pratiques, il résulte toujours une dépense plus considérable, qu'en se

bornant au travail ordinaire : la consommation en combustible, le déchet sur le fer, et les frais de main-d'œuvre, augmentent en même temps; de sorte que le prix de revient s'élève rapidement, à mesure que l'on cherche à améliorer la qualité du fer, en affinant des fontes médiocres ou mauvaises; pour les plus mauvaises, il y aurait même peu de chose à gagner sur la qualité, et l'avantage ne serait pas compensé par les sacrifices qu'on serait obligé de faire.

On sait, au reste, depuis longtemps, que la première et la plus importante des conditions à remplir pour se procurer de bon fer malléable, c'est de travailler sur de bonne fonte; il faut qu'elle soit complétement exempte des substances reconnues pour être les plus nuisibles à la qualité du fer, et que nos méthodes d'affinage n'en séparent qu'imparfaitement; elle ne doit donc contenir que du carbone, en combinaison. On conçoit, d'après cela, qu'il y ait, pour chaque espèce de fonte, pour chaque espèce de combustible employé, comme pour chaque mode d'affinage dont on jugera convenable de se servir, un degré dans la qualité du fer, qu'il faut chercher à atteindre, mais qu'on ne pourrait dépasser sans inconvénient, parce que la fabrication cesserait alors d'être avantageuse. C'est une question assez compliquée, et qui doit être examinée, dans chaque forge ou dans chaque groupe d'usines, puisqu'elle dépend de circonstances locales : elle est d'une grande importance, à cette époque, et dans nos contrées, à cause de la lutte et de la concurrence qui se sont établies entre les produits des usines à l'anglaise et ceux des forges qui emploient en partie ou en totalité du combustible végétal.

Trois modes de fabrication du fer, employés en France.

Diverses méthodes sont employées pour la fabrication du fer en barres, et quelquefois en concurrence, dans les usines peu éloignées, et sur la même espèce de fonte; de sorte que les produits qu'on en obtient sont nécessairement comparés les uns aux autres, sous les rapports des *prix de revient*, et respectivement de leurs qualités, qui règlent les prix de vente. Or, c'est précisément du choix des procédés d'affinage, les mieux appropriés à la nature des fontes et à l'espèce de combustible que l'on peut se procurer, à un certain prix, que dépend actuellement la prospérité des forges (même des plus anciennes), soit que l'on considère chacune d'elles en particulier, soit qu'on les prenne dans leur généralité.

Nous pouvons réduire à trois genres les divers modes de fabrication en usage actuellement (1) :

1° L'affinage de la fonte avec le charbon de bois, dans les anciens feux : on ne l'emploie guère que pour des fontes fabriquées elles-mêmes au charbon de bois (2);

2° L'affinage suivant la méthode anglaise, pour lequel on n'emploie que du combustible minéral : cette méthode n'est appliquée, dans toutes ses parties, qu'à la fonte au coke;

3° Enfin, une méthode mixte, ou qui participe des deux précédentes, et pour laquelle on ne

(1) En exceptant toujours le traitement de certains minerais de fer, pour en obtenir immédiatement du fer, ou de l'acier en barres.

(2) Il y a quelques exemples de fonte au coke affinée au charbon, dans la Silésie prussienne; mais cela est fort rare.

consomme que de la houille, en opérant toujours sur de la fonte au charbon de bois.

Cette dernière, comme étant la plus nouvelle et la plus propre à conserver la qualité des fers provenant des fontes au charbon de bois, tout en n'employant dans l'affinage que des combustibles minéraux, et devant, par ces motifs, remplacer presque partout le procédé des feux d'affinerie, mérite de nous occuper plus que toutes les autres; elle est moins connue, et peut-être aussi est-elle le plus susceptible de perfectionnement, bien qu'elle soit très-avantageusement employée en Champagne, où elle a pris naissance, ce qui lui a fait donner le nom de *méthode champenoise* (1).

---

(1) Chacun des trois modes de fabrication dont on vient de parler, subit des modifications dans certaines forges, de sorte que l'on pourrait distinguer diverses espèces de fer en barres, d'après leur origine, ainsi qu'il suit :

a) Les fers fabriqués avec du charbon de bois, et provenant des fontes obtenues avec ce même combustible.

b) Ceux qui sont fabriqués avec la houille, et en affinant des fontes au charbon de bois. Ici il y aurait une sous-division à établir, afin de distinguer entre eux : α) les fers provenant d'un affinage au fourneau à réverbère, mais qui ont été étirés en barres au moyen du marteau ; β) ceux, dont l'affinage ayant été opéré de la même manière, ont ensuite été façonnés en barres par les cylindres lamineurs. On pratique quelquefois le corroyage dans ce dernier mode de fabrication (et même deux fois, si on le juge nécessaire pour avoir de fort bon fer), mais non le mazéage de la fonte. Dans le procédé précédent (α) on ne pratique jamais le corroyage.

c) Enfin, les fers fabriqués à la houille, avec des fontes au coke : c'est le procédé anglais complet, dans lequel on trouve, et comme indispensables, le mazéage de la fonte,

§ Ier. *De la fabrication du fer en barres, avec le charbon de bois.*

L'affinage dans les feux d'affinerie, qui n'est employé que pour des fontes au charbon de bois, est une méthode fort ancienne qui atteint bien son but, et qui produit du fer de bonne qualité, lorsque les ouvriers sont bien exercés, et très-attentifs aux détails de l'opération. Ce qui le distingue principalement des autres modes de décarburation de la fonte, c'est que le métal s'affine et reste en contact avec le combustible, et qu'il est d'ailleurs, pendant l'opération, soumis à l'action d'un courant d'air forcé, dont la puissance d'oxidation doit être supérieure à celle des flammes sortant de la chauffe d'un fourneau à réverbère. Jusqu'à ces derniers temps, cette manière de convertir la fonte en fer forgé, n'avait pas éprouvé de modifications bien importantes, et les différences qu'on observait dans les pratiques usitées dans les diverses forges, semblaient dépendre aussi souvent des habitudes prises par les ouvriers, que de la nature de la fonte employée : on en peut voir le détail dans le *Manuel* de M. Karsten. S'il résultait quelquefois, et de certaines manipulations, une meilleure qualité de fer, quelques-unes de ces manières d'affiner entraînaient aussi une très-grande consommation de combustible, et elles ont dû être remplacées par d'autres plus

le cinglage au marteau frontal ou aux cylindres, le corroyage et l'étirage aux cylindres. Pour obtenir du fer, on ne consomme alors pas d'autre combustible que de la houille et du coke.

économiques : c'est ce qui est arrivé, par exemple, pour l'affinage Bergamasque, seul pratiqué, il y a trente ans, dans le Dauphiné, la Savoie, le Valais, etc., et auquel on a substitué généralement la méthode allemande dite *affinage comtois*.

Mais ce dernier procédé présente lui-même quelques différences dans la manière de le pratiquer, et elles portent principalement sur la quantité de fonte que l'on affine à la fois, ce qu'on appelle *le poids des loupes* que l'on forme, et sur la rapidité de l'affinage. Ces circonstances peuvent tenir à la nature des fontes employées, au degré de pureté où elles sont, et enfin à l'espèce de substance nuisible qu'il s'agit d'en séparer; malheureusement ce sont toujours les causes qui demeurent inconnues et cela retarde singulièrement les progrès de la métallurgie : je me bornerai donc à présenter un exemple du fait dont il s'agit, d'après ce que j'ai vu dernièrement.

Dans les forges du grand duc de Bade (*Hausen*, *Wehr* et *Albrück*), on pratique l'affinage allemand, sur des quantités de fonte bien plus considérables qu'il n'est généralement d'usage de le faire en France et dans d'autres parties de l'Allemagne: ainsi, on affine à la fois 150 kilogrammes de fonte, tandis que chez nous les loupes ne sont que de 50 à 60 ou 70 kilogrammes; on sait même qu'il y a des forges où la loupe ne pèse pas plus de 25 ou 30 kilogrammes. Il est vrai que la durée de l'opération est en raison de la masse à affiner; de sorte que, dans le pays de Bade, l'affinage dure de trois et demi à quatre heures, et quelquefois plus; dans nos forges, c'est seulement une heure et demie ou une heure trois quarts; et, en définitive, le

produit journalier est plus considérable dans ces dernières, parce qu'on y affine plus rapidement.

Mais, ce qui est important, c'est que le déchet sur la fonte est extrêmement faible dans les usines du pays de Bade; il ne dépasserait guère 20 p. 100, au lieu de 26, 28 ou 30 qu'on observe ailleurs (1). Si les indications qu'on m'a données, dans les trois usines citées, sont exactes (et il en est de même à la forge de Laufen, près de Schaffouse), les affineurs, pour 100 livres de fonte qu'on leur livre, rendent 80, 85, et même 88 livres de fer en grosses barres (2): ce sont des fontes grises de bonne qualité.

L'emploi qu'on a fait de l'air chaud pour l'affinage n'a point changé sensiblement ces résultats. Quant à la consommation en charbon (de bois résineux), il est difficile de la comparer à celle qui a lieu chez nous, mais il ne paraît pas qu'elle soit plus considérable que celle-ci, en prenant les combustibles au poids. Si ces faits sont exacts, comme j'ai tout lieu de le croire, il serait bien utile d'en rechercher les causes, en se livrant à une étude minutieuse des procédés.

---

(1) M. Karsten indique 28 $\frac{1}{2}$ pour les usines royales de Prusse, et 25 ou 26 comme un *minimum*. Voyez le tome III, pag. 99, de la traduction du *Manuel de la métallurgie du fer*.

(2) Dans l'usine de Schaffouse, on affine des fontes blanches produites avec l'air chauffé, dans le fourneau de Plons, près de Sargans; la même manière de procéder à l'affinage donne les mêmes résultats. Ce très-faible déchet a déjà été signalé par M. Combes, ingénieur en chef, dans les *Annales des mines*, 3ᵉ série, tome VI, pag. 463. Il indique 17 $\frac{1}{2}$ p. 100, et la consommation en charbon de sapin est de 8 mètres cubes, avec l'air chaud.

Depuis un petit nombre d'années, et toujours par suite de l'augmentation du prix du combustible végétal, on a multiplié les essais, fait de nouvelles tentatives, et introduit quelques changements, dont un bon nombre n'ont pas encore été pratiqués pendant assez longtemps pour qu'on puisse en porter un jugement définitif.

Nous nous bornerons à indiquer ce qui nous a semblé donner les résultats les plus importants, et procurer les avantages les mieux constatés.

Toutefois nous croyons devoir énumérer les divers procédés qui sont venus à notre connaissance, afin d'appeler sur chacun d'eux l'attention des maîtres de forges, et de les mettre à même de demander les informations dont ils pourraient avoir besoin. Nous indiquerons donc :

a) L'emploi de l'air chauffé ; *b*) les deux tuyères divergentes de M. Gauthier ; *c*) le recouvrement du foyer ou creuset, par une voûte en briques ; *d*) l'emploi d'un four pour échauffer la fonte, avant de l'introduire dans le creuset ; *e*) l'emploi du bois desséché et mélangé avec le charbon ; *f*) l'emploi du bois à demi carbonisé ; *g*) enfin, des préparations de la fonte avant de la soumettre à l'affinage, et dans le but d'améliorer la qualité du fer fabriqué avec des fontes médiocres ou mauvaises.

De l'application de l'air chauffé, aux feux d'affinerie.

a) Emploi de l'air chauffé.

Ce procédé est employé dans un grand nombre de forges en Allemagne, et l'on assure partout qu'on en obtient de très-bons résultats, et une

économie réelle sur le combustible (1). Généralement l'air est chauffé à une assez faible température : à Kœnigsbronn (Wurtemberg), c'était, en 1835, à 150° c.; dans les usines de Bade, seulement de 100 à 110° ou 120° c.; mais cela tient, m'a-t-on dit, à l'imperfection de l'appareil dont on se sert, et qui consiste en un serpentin en fonte, qui n'est chauffé que par la flamme s'échappant librement du foyer, et au milieu de l'air extérieur qui est entraîné avec elle dans la cheminée. On dit qu'il vaudrait beaucoup mieux, pour l'affinage, projeter de l'air plus chaud. Au reste, on avait commencé (août 1837) des constructions pour remplacer tous les anciens feux par un nouveau système, ou fourneau dit *glühofen*, dont nous donnerons plus tard une description détaillée et complète, à l'aide de dessins. Qu'il nous suffise de dire, pour l'instant, que l'on attribue à l'emploi de l'air chauffé une économie de charbon très-notable. En effet, la consommation, pour 100 liv. de Bade (50 kil.), étant, à l'air froid, de 20 à 22 ou 24 pieds cubes de charbon, suivant sa qualité, a été généralement réduite à 15 ou 16, de même que dans l'usine de Schaffouse, par le fait seul de l'échauffement de l'air.

Dans les forges du Bas-Rhin, à Zinswiller, on est également très-satisfait de l'air chauffé pour l'affinage de la fonte, comme pour sa production

(1) Il est digne de remarque que l'emploi de l'air chauffé, auquel on suppose un pouvoir plus comburant, n'a pas fait augmenter le déchet sur la fonte, dans l'affinage; on a reconnu, au contraire, aux forges du Bas-Rhin, une augmentation dans *le rendu* de 3 à 4 p. 100, mais sans économie sensible de charbon.

dans le haut-fourneau. L'appareil de chauffage est très-simple, et consiste en un tuyau en fonte, recourbé trois fois, et s'étendant verticalement dans une caisse, aussi en fonte, où monte la flamme, et celle-ci se rend ensuite dans la cheminée. On a élevé les soufflets à 8 pieds environ au-dessus du sol, et c'est à cette hauteur que l'air froid entre dans l'appareil; il en sort à une température de 100 à 125° c., mesurée à la tuyère. Le seul inconvénient que l'on trouve à cette disposition, c'est que la surface du tuyau d'échauffement, vers le coude inférieur, le plus rapproché du feu, se recouvre promptement d'une couche assez épaisse de matières fusibles, de cendres et silicates fondus ensemble, qu'on a beaucoup de peine à en détacher, et qui rendent le chauffage plus difficile et fort imparfait.

De l'emploi de deux tuyères divergentes dans les feux d'affinerie (1).

b) Des deux tuyères divergentes.

On a imaginé (2) et employé, pour introduire l'air dans les foyers d'affinerie anciens, deux tuyères au lieu d'une seule; elles sont un peu courbes, et placées d'un même côté à peu de distance l'une de l'autre; les deux jets d'air s'écartent, en divergeant au sortir des tuyères, de sorte que le vent peut s'étendre horizontalement

(1) On trouve dans les *Annales des mines* (3e série, tom. VII, pag. 183), l'indication de l'emploi de deux tuyères placées sur les parois latérales et opposées des creusets d'affinerie : ici la disposition est toute différente.

(2) Je crois que c'est M. Gauthier, maître de forges, possédant beaucoup d'usines à fer, dans la Champagne et la Franche-Comté

dans le foyer. Il paraît toutefois que, dans le système de l'inventeur, on doit donner le vent tantôt par l'une et tantôt par l'autre; ce qui a lieu, du reste, lorsqu'on fait usage des anciens soufflets en bois.

On m'a dit à Hayange (en 1836) qu'on se trouvait bien de l'emploi de ces tuyères; qu'il en résultait une certaine économie de charbon, et que les ouvriers avaient trouvé très-promptement les petites modifications qu'il convenait d'apporter dans leur travail habituel, en raison de la nouvelle distribution de l'air dans le foyer.

En Champagne, près de Saint-Dizier (en 1837), on m'a assuré, au contraire, qu'on n'avait trouvé aucun avantage à substituer les deux tuyères de M. Gauthier à la tuyère unique dont on fait usage de temps immémorial.

Je n'ai aucun détail précis sur les essais qui peuvent avoir été faits pour établir une comparaison entre les résultats de la nouvelle et de l'ancienne manière de projeter l'air dans les feux d'affinerie, et je m'abstiens de prononcer entre elles.

Des feux d'affinerie recouverts d'une voûte.

c) De la voûte établie sur les feux d'affinerie.

Dans quelques usines à fer, mais dont le nombre n'est pas encore bien grand, en France, on voit des foyers d'affinerie, dont les flammes sont employées à divers usages, ainsi que nous le dirons plus tard; celles-ci sont conduites dans des espaces ou fours accessoires où doit s'opérer l'échauffement de certains corps, au moyen d'une voûte en briques réfractaires (quelquefois un peu inclinée de l'arrière à l'avant), et qui recouvre le

creuset, à une petite hauteur, comme de 3 $\frac{1}{2}$ à 4 pieds au-dessus du fond, et suffisante pour que l'ouvrier puisse *monter* son feu commodément.

Dans ces circonstances, on ne peut guère se douter de l'utilité de cette voûte pour produire une économie de charbon; cependant, d'après ce qui m'a été affirmé, en Champagne, par un maître de forges très-éclairé, cette seule disposition produit une économie de 30 à 36 pieds cubes de charbon par 1.000 kilogrammes de fer fabriqué; c'est entre le $\frac{1}{7}$ et le $\frac{1}{6}$ de la quantité consommée dans les usines de cette contrée, où les feux d'affinerie n'ont éprouvé aucune modification.

On voit d'ailleurs, dans le même pays, des feux d'affinerie qui sont simplement recouverts d'une voûte, sans que la chaleur des flammes perdues reçoive aucun emploi; elles sortent par un trou carré, percé dans la voûte, pour se rendre dans la cheminée; il y a encore dans ce cas une économie de près de *un cinquième* sur le combustible consommé; c'est une preuve directe de l'avantage que produit cette disposition (1).

(1) J'espère pouvoir publier, dans ces *Annales* des dessins destinés à faire connaître diverses manières de disposer et de perfectionner les forges au charbon de bois, afin d'épargner le combustible végétal. Il importe d'en répandre la connaissance parmi les propriétaires et directeurs de nos usines à fer. Il y a, en effet, diverses dispositions, comme celle dont nous venons de parler, qui ont le rare mérite de pouvoir s'adapter aux anciennes forges avec la plus grande facilité; mais s'il s'agissait de construire une usine nouvelle, ou d'en réparer complétement une ancienne, ainsi que je l'ai vu faire dans deux grands établissements du pays de Bade, je n'hésiterais pas à conseiller (dans le cas où il n'y a pas lieu de faire usage de la houille ou de la tourbe) l'emploi du système de foyer d'af-

On attribue ce résultat, cette diminution dans la quantité du charbon consommé, à la concentration de la chaleur dans le foyer, et à l'irradiation produite par la voûte, lorsqu'elle est chauffée convenablement, ce qui a lieu bien promptement quand le travail est continu.

Il y a, toutefois, quelques inconvénients attachés à l'usage des voûtes qui recouvrent les feux d'affinerie; peut-être parviendra-t-on à les faire disparaître, ou à en atténuer le résultat : d'abord on remarque, et les affineurs s'en plaignent en Champagne, que ces ouvriers souffrent plus de la chaleur du foyer, que dans les forges anciennes; ensuite il paraît qu'il retombe dans le foyer, et par l'effet de la résistance qu'oppose la voûte à l'ascension directe des flammes et fumées, des mélanges de cendres et de substances terreuses, qui ne se liquéfient pas complétement et qui s'interposent dans le fer, de manière à le rendre pailleux, ce qui nuit à sa qualité : cela devient surtout plus fâcheux pour les fers dits de *roche*, que l'on fabrique cependant actuellement dans ces foyers recouverts d'une voûte, pour obtenir l'économie de charbon qui résulte de cette disposition et que le haut prix du combustible végétal dans les départements de la Haute-Marne, de la Haute-Saône, etc., ne permet pas de négliger.

---

finerie avec four à réchauffer et appareil pour se procurer de l'air chaud, et qu'on appelle *glühofen*, qui est employé à Laufen, près de Schaffouse, et que j'ai trouvé en construction à Hausen et à Albrück. J'en donnerai incessamment les dessins avec une explication détaillée.

De l'emploi d'une sole à chauffer la fonte avant de l'introduire dans le creuset d'affinage.

d) Des fours ou soles à échauffer la fonte, et à réchauffer le fer.

Il était assez facile d'imaginer qu'un échauffement préalable de la fonte, et en le portant jusqu'au rouge, devait diminuer la durée du temps nécessaire, pour opérer dans le creuset la liquéfaction de la charge; l'avantage devait être notable, en se ménageant, ainsi qu'on le fait toujours, le moyen de produire cet échauffement sans consommer de combustible pour cet objet; or l'emploi des flammes perdues des feux d'affinerie, convient très-bien, et peut être facilement appliqué à produire ce résultat; elles sont même capables de produire bien plus de chaleur qu'il n'en faut, pour cela, ainsi qu'on le verra par la suite (1).

On devait craindre toutefois, qu'en affinant de la fonte préalablement échauffée par la flamme perdue, et suivant la méthode allemande, qui n'admet, comme on sait, qu'un seul foyer pour la formation de la loupe et pour l'étirage du fer en barres, la fusion de la fonte se trouvant terminée (complète) bien plus tôt qu'à l'ordinaire, il ne fut plus possible de trouver le temps nécessaire pour forger les barres provenant de chaque loupe; c'est en effet ce qui aurait lieu si l'on n'employait pas le même four, ou d'autres qui reçoivent successivement la même flamme, pour réchauffer les barres d'une opé-

(1) La fonte doit être mise sous la forme de prismes courts ou gueusets, afin qu'on puisse la placer dans le four de préparation, et la faire passer ensuite, et toute rouge, dans le creuset d'affinage.

ration précédente, et pour les forger pendant l'affinage de la loupe qui suit; mais ces réchauffages, dans les fours accessoires, ne peuvent être pratiqués que sur des pièces déjà étirées en grosses barres, car les portions de loupes, lopins ou massiaux, ne pourraient, vu leur masse, y prendre une chaleur suffisante pour être étirés et soudés convenablement; ils doivent être réchauffés, dans le foyer même, ainsi qu'on le faisait auparavant, et ce qui n'a aucun inconvénient, parce que cela ne demande que peu de temps. Lorsqu'il s'agit de souder des pièces, il faut encore employer le même moyen (ou bien un foyer particulier) (1), la température des fours chauffés par les flammes perdues, demeurant toujours insuffisante pour cet objet.

Au reste, l'emploi d'un four à réchauffer la fonte, servant également et en même temps, lorsqu'il est convenablement disposé, à réchauffer le gros fer, pour l'étirer ensuite, soit au marteau lorsqu'on se borne à compléter l'opération ordinaire de l'affinage, soit à remplacer le feu de chaufferie pour le travail au martinet, se lie très-bien, et presque nécessairement, ainsi que nous l'avons dit en commençant, à l'établissement d'une voûte qui recouvre le foyer, et nous donnerons des exemples de ces dispositions multiples, dont on obtient de très-bons résultats dans diverses usines de l'Allemagne et de la France.

(1) Ainsi qu'on le voit pratiquer à l'usine de Laufen, où le foyer de réchauffage est à l'air chauffé, et consomme de la houille.

Inconvénient de l'échauffement préalable pour affiner certaines sortes de fontes.

L'avantage de l'échauffement préalable de la fonte qu'on se propose d'affiner, est évident sous le rapport de l'économie du combustible, parce qu'il a pour effet nécessaire d'abréger l'opération de l'affinage; mais il peut avoir des inconvénients, et par le même motif, à l'égard des fontes que l'on n'est pas dans l'habitude de faire fondre rapidement dans le creuset, et pour lesquelles on admet, au contraire, qu'une fusion lente est nécessaire (peut-être même, dira-t-on, indispensable) pour en obtenir du fer d'une certaine qualité; et, en effet, si l'on ne trouve pas le moyen de suppléer, par quelques manipulations nouvelles ou plus multipliées, aux effets de purification qui ont lieu pendant une fusion lente de la fonte, il faut renoncer au procédé indiqué et aux économies qu'il procure : c'est, en effet, ce qui a lieu dans de certaines usines, où l'on assure qu'il ne convient pas de charger dans le creuset, de la fonte déjà chauffée au rouge, parce qu'elle se fond ensuite trop rapidement, et qu'il en résulte, en définitive, de mauvais fer (1). J'ai quelques raisons de croire que cela s'applique partilièrement aux fontes phosphoreuses qui donnent du *fer tendre*, comme on en affine souvent dans les départements des Ardennes, de la Moselle, etc.

---

(1) Voyez le *Manuel de la métallurgie du fer*, tom. III de la 2e édition, § 1134, 1146, etc. C'est peut-être dans un cas semblable qu'on établit seulement une voûte sur le creuset, mais sans faire aucun usage des flammes perdues. On sait d'ailleurs l'importance que les métallurgistes, et surtout M. Karsten, attachent à cette fusion lente de la fonte, qui tombe alors goutte à goutte au milieu du vent de la tuyère, jusqu'au fond du creuset.

Il y a néanmoins déjà beaucoup d'exemples de cette manière de procéder, et bien des dispositions différentes qui arrivent au même but; cela suffit pour démontrer l'avantage du procédé en général; et à l'égard des cas où cela pourrait avoir des inconvénients, il sera toujours facile de les reconnaître, au moyen d'essais fort peu dispendieux. Lorsqu'on a, ou lorsqu'on peut établir un martinet à portée de ces fours, on n'a plus besoin de feu de chaufferie pour fabriquer ce qu'on appelle le *fer martiné*; suppression fort économique, dans les circonstances actuelles.

Il convient donc de disposer les feux d'affinerie de manière à pouvoir réchauffer, à la fois, la fonte et le fer en barres, et nous décrirons les feux d'affinerie de Schaffouse et ceux du grand-duché de Bade (Glühofen), qui n'en sont qu'une modification assez légère, parce qu'ils nous semblent présenter les meilleures dispositions dont nous ayons eu connaissance jusqu'à ce jour.

Remarquons, par anticipation, qu'on y trouve réunis la voûte qui recouvre le foyer, le four à réchauffer et l'appareil à chauffer l'air; il y a conséquemment emploi utile des flammes du foyer, concentration de la chaleur dans le creuset, etc.

Si la nature de la fonte ne permettait pas de l'échauffer avant de la liquéfier dans le creuset d'affinerie, il n'y aurait rien à changer pour cela dans la disposition des fours accessoires; seulement ils ne seraient plus employés qu'à réchauffer le fer pour l'étirer en barres ordinaires ou en fer de petit échantillon; on peut même se servir de cylindres pour exécuter ce dernier travail.

De l'emploi du bois fortement desséché, mélangé avec le charbon de bois, dans les feux d'affinerie.

Je n'ai que fort peu de renseignements sur ce procédé que je n'ai pas vu pratiquer, et qui est employé dans plusieurs des usines de M. Gauthier : le bois est préalablement desséché, soit au moyen de l'air chauffé, qui traverse des chambres où le combustible est entassé, soit par les flammes même du gueulard des hauts-fourneaux : cette préparation doit être embarrassante et dispendieuse; on dit pourtant qu'on trouve de l'avantage dans ce procédé, qui sera sans doute incessamment décrit par M. l'ingénieur Bineau.

e) Emploi du bois desséché.

§ II. *De l'affinage de la fonte par la méthode anglaise.*

Le procédé imaginé et employé généralement en Angleterre, pour affiner la fonte en ne consommant que de la houille, atteint son but d'une manière remarquable; et, comme il permet d'établir les usines dans toutes les localités où le minerai est abondant, et que la fabrication du fer, toujours extrêmement rapide, peut prendre une extension presque indéfinie, il a été et sera encore longtemps, pour ce pays, une source immense de richesses : on a commencé par fabriquer de la fonte au coke, puis on a converti celle-ci en fer en barres, et les machines à vapeur étant venues prêter leurs forces prodigieuses à ces fabrications, les produits des usines

de la Grande-Bretagne ont atteint une prospérité sans exemple jusqu'ici.

Le bois n'étant pas encore devenu aussi rare, sur le continent de l'Europe qu'en Angleterre, depuis cinquante ans, on a continué de fabriquer la fonte et le fer avec le charbon de bois; ce n'est guère que dans ces derniers temps qu'on a cherché à imiter les procédés anglais, et malheureusement on n'en a pas toujours obtenu le succès que l'on en devait attendre. Jusqu'ici, ce sont les usines de la Belgique qui ont le mieux prospéré, et elles travailleraient avec autant d'avantages que celles des îles britanniques, si la houille y était au même prix. Mais le succès métallurgique qu'on a obtenu dans ces contrées ne dépend que de la bonne qualité des matières premières fournies par la nature, et nullement de procédés particuliers, ni même d'une meilleure exécution de ceux qui sont pratiqués ailleurs.

On n'y remarque rien de particulier, si ce n'est, pour la fabrication de la fonte, l'emploi de machines soufflantes très-puissantes, et que l'on ne craint pas de faire mouvoir par des machines à vapeur, de la force de 50 et même 60 chevaux, ainsi que nous l'avons dit précédemment.

En France, des houilles et quelquefois des minerais de fer, d'une qualité médiocre, ont porté un assez grand préjudice à des usines à l'anglaise construites à grands frais, et sur une très-grande échelle, avant d'avoir suffisamment reconnu la nature des produits que l'on pouvait obtenir des minerais fondus avec le combustible dont on disposait, et des fers qui en devaient provenir : cependant il est à croire qu'avec une

étude suivie de ces éléments, qu'à l'aide d'essais bien dirigés et avec de la persévérance, on parviendra à surmonter les difficultés qui ont arrêté jusqu'ici l'essor de ces usines. On a dû commencer l'emploi des procédés anglais d'affinage par les appliquer à la fonte produite avec le charbon de bois, et on y a trouvé divers avantages qui doivent faire adopter dans presque toutes nos forges, l'affinage au fourneau à réverbère, et en ne brûlant que de la houille.

On doit distinguer trois genres de procédés, ou trois manières de combiner les opérations qui constituent l'affinage à l'anglaise :

1° Le procédé anglais proprement dit ou complet, comprenant les trois opérations : *mazéage* ou conversion de la fonte en fine métal; *puddlage*, suivi du cinglage et de la formation des grosses barres; ces deux dernières opérations étant exécutées au marteau frontal et au moyen des cylindres ébaucheurs; et enfin, *réchauffage* ou *corroyage*, indispensable pour obtenir du fer marchand avec des fontes au coke, sur lesquelles on pratique toujours cette suite d'opérations.

2° Le même procédé peut être appliqué aux fontes au charbon de bois, et il y en a quelques exemples, lorsqu'on veut fabriquer du fer d'une excellente qualité, et pour des usages particuliers; mais généralement on supprime le mazéage dans ce cas, et il suffit de réchauffer le fer puddlé, et de le soumettre à un corroyage pour fabriquer de bon fer marchand; rarement on corroie deux fois.

Il est digne de remarque que les déchets sur la fonte au charbon de bois que l'on soumet au puddlage, et dont le produit subit ensuite un

corroyage, sont à peu près les mêmes que ceux qui résultent de l'ancien mode d'affinage au charbon de bois. Quelquefois le déchet est moindre par la nouvelle méthode; d'autres fois il est un peu plus grand.

3° Une autre manière de procéder, toujours pour affiner des fontes produites au charbon de bois, a reçu le nom de *méthode champenoise*; de la contrée où elle a pris naissance; elle consiste à puddler immédiatement la fonte, sans mazéage, et à réchauffer ensuite les loupes, cinglées et dégrossies au marteau, dans un foyer à tuyère, sans corroyage, et au milieu de la houille.

On obtient ainsi de bon fer, en supprimant deux des opérations pratiquées dans le procédé anglais, sur les fontes au coke, et pourvu qu'on emploie le four à deux portes de travail, dit *champenois*, et où l'affinage s'opère d'une manière plus parfaite que dans le four simple des Anglais.

Nous allons exposer et faire connaître ce que l'on observe de particulier relativement à ces trois genres de procédés, dans les diverses usines à fer que nous avons visitées dans ces dernières années, en France et en Belgique, afin d'appeler l'attention des métallurgistes sur ce qu'il nous paraît encore possible de faire pour diminuer *le prix de revient du fer*, et pour améliorer la qualité de celui-ci, tout en épargnant du combustible; mais surtout dans le but de faciliter et de rendre plus facile l'application des méthodes qui conviennent le mieux à nos forges.

1° Procédé anglais.

1° *Du procédé anglais* proprement dit. Ce procédé, appliqué à des fontes au coke, se compose toujours des trois opérations principales

dont nous avons parlé, et qui sont également, et de la même manière pratiquées en Angleterre, en Belgique et en France, lorsqu'on affine les fontes dont il s'agit.

Les foyers de finerie, les fours à puddler, les marteaux de cinglage, et les cylindres lamineurs, sont, à de légères différences près, établis et construits sur le même modèle partout. Les opérations sont exécutées de même, et donnent, à peu près partout, les mêmes produits avec des consommations analogues.

Toutefois il y a de fâcheuses exceptions, des anomalies ruineuses dans de certaines forges, qui ont obligé à perdre beaucoup de fer dans l'opération du mazéage, à faire deux réchauffages ou corroyages, et cela même sans obtenir de très-bon fer. Il importerait extrêmement d'étudier et de bien faire connaître les causes chimiques ou physiques de ces résultats, afin de remédier à ces pertes.

Pour nous borner à ce qui se rapporte à la fabrication du fer en barres, nous ferons remarquer que la nature des fontes, leur composition, peut-être la quantité et l'état de combinaison du carbone, la proportion du silicium, ou celle du soufre et du phosphore, influent sur la facilité de leur affinage, et surtout sur la perfection de celui-ci, en même temps que sur les déchets qu'éprouve le métal dans chaque opération.

Nous avons déjà signalé les différences qui existent entre les fontes au coke et celles au charbon de bois, sous le rapport de la facilité de leur affinage au four à réverbère; elles résultent peut-être uniquement de la manière dont le carbone se trouve combiné dans ces deux sortes de fonte,

car elle est indépendante de la proportion des substances nuisibles qu'elles contiennent.

Parmi les fontes au coke, et en supposant des minerais d'une qualité médiocre et un combustible sulfureux, ainsi qu'on l'observe généralement pour la houille et même le coke, les circonstances dans lesquelles la fonte a été formée paraissent avoir une grande influence sur sa qualité comme fonte de forge; c'est-à-dire sur le déchet qu'elle éprouvera pour être convertie en fer, et aussi sur la qualité du fer qu'on en obtiendra (1).

Bien que les moyens connus et employés pour améliorer la qualité du fer à l'affinage, entraînent, comme de nécessité, une diminution notable dans le rendu des fontes, et que ce soit en sacrifiant du fer que l'on parvienne à le faire meilleur, il est cependant vrai de dire que ce sont, en général, les fontes qui éprouvent le plus de déchet qui donnent le plus mauvais fer. Les exemples ne me manqueraient pas, s'il fallait citer des faits à l'appui de cette assertion; mais je ne veux ici qu'en conclure l'imperfection des procédés et la nécessité de les perfectionner.

Quoi qu'il en soit, il est certain que des fontes dont l'aspect, le grain et la couleur de la cassure ne diffèrent pas sensiblement, montrent néanmoins de grandes différences, lorsqu'on les sou-

(1) C'est ainsi qu'à Decazeville, on fondait des minerais si aisément fusibles en masse (et à ce point qu'ils se convertissaient en partie en silicates de fer, par le simple grillage en tas qu'on en faisait), qu'ils ne pouvaient guère produire de bonne fonte dans les fourneaux, puisqu'ils devaient s'y comporter comme des scories de forge.

met aux diverses opérations de l'affinage à la houille. C'est dans chaque usine qu'il faut étudier ces diverses manières de se comporter des fontes, afin de tirer le meilleur parti possible de chacune d'elles, et surtout il faut conduire les hauts-fourneaux de la manière qui convient pour leur faire produire l'espèce de fonte qui donne les résultats les plus avantageux.

On remarque que les fontes formées par une grande surcharge de minerais, lorsque ceux-ci sont fort impurs, ou lorsque le coke est très-sulfureux, sont difficiles à affiner, et donnent de mauvais fer; il en est de même des fontes formées par des mélanges très-riches, ou bien encore lorsque la descente des charges devient très-rapide, comme il est arrivé lorsqu'on a voulu augmenter considérablement, et par divers moyens, le produit journalier de fourneaux qui, jusque là, ne donnaient que 5 ou 6 tonnes de fonte par vingt-quatre heures : souvent alors la fonte produite est devenue rebelle à l'affinage; elle a subi beaucoup plus de déchet qu'auparavant, et le fer s'est trouvé plus mauvais.

L'emploi de l'air chauffé, qui a produit de bons effets dans les fourneaux de la Voulte et ceux des environs de Saint-Etienne, a augmenté, généralement en Angleterre, la difficulté de l'affinage pour les fontes ainsi produites, et on a, dit-on, abandonné ce procédé, lorsqu'il s'est agi de produire des fontes de forge.

On a cherché à expliquer ce résultat par l'existence d'une plus haute température dans l'ouvrage des fourneaux à l'air chaud, qui donnait lieu à la réduction et combinaison d'une plus forte pro-

portion de silicium. Mais, outre que l'on peut douter de cette haute température, lorsqu'on a augmenté convenablement la dose de matières à fondre, dans la charge, il s'agit de fontes blanches ou truitées, qui contiennent moins de silicium que les fontes grises, et cependant celles-ci donnent toujours de meilleur fer que les autres.

a) Du mazéage, ou de la conversion de la fonte en fine métal.

On a fait, à diverses époques, et encore dernièrement en Angleterre, bien des tentatives pour supprimer le mazéage, dans le procédé anglais, et pour convertir immédiatement la fonte au coke en fer malléable, en la traitant au four à puddler, telle qu'elle est au sortir des hauts-fourneaux; mais le carbone ou graphite se trouvant toujours engagé ou combiné, et fortement retenu, dans cette espèce de fonte, le puddlage ou la décarburation devient long et difficile, le déchet est considérable, et, quelque chose qu'on fasse, le fer est toujours de mauvaise qualité : on fait bien quelquefois passer une petite quantité de fonte brute, au puddlage, avec du fine métal, mais le fer obtenu s'en ressent toujours.

Faute de pouvoir se dispenser de convertir les fontes au coke, en fine métal, avant d'en obtenir du fer en barres, on a dû chercher à rendre l'opération du mazéage plus économique, et surtout plus efficace pour séparer les substances nuisibles, et améliorer la qualité du fer, sans sacrifier trop de métal. Les fineries à six ou huit tuyères, auxquelles on fournit du vent en abondance, à l'aide de machines de quinze ou

vingt chevaux de force (1), produisent journellement de grandes quantités de fine métal, et avec assez peu de frais; mais le déchet, variable selon la nature de la fonte et aussi du coke employé, est quelquefois très-considérable, et c'est à cela qu'il importe de remédier.

On peut trouver de l'avantage à préparer de la fonte au charbon de bois, par un mazéage préliminaire au puddlage, surtout lorsqu'elle est de mauvaise qualité, et pour en obtenir de bon fer; il y a même des usines où les fontes tendres sont préparées, au moins par une fusion, à l'affinage qu'elles subiront dans les anciens feux d'affineries; c'est pour cela que nous avons cru devoir réunir tout ce qui se rattache à la préparation des fontes pour l'affinage.

Le mazéage proprement dit s'exécute toujours dans un creuset ou foyer à tuyère, et produit du fine métal, tandis que les préparations d'une moindre importance se réduisent à fondre dans un fourneau à réverbère, en ajoutant, le plus souvent, des scories riches ou des battitures, et dans le but de séparer des substances nuisibles. Le produit prend ordinairement le nom de *fonte blanchie*, c'est-à-dire peu décarburée.

Revenons au mazéage : on sait que le but de cette opération est ou doit être double, savoir de rendre la fonte moins aisément fusible, et par cette raison plus facile à travailler dans le four à puddler. Ainsi, le fine métal contient beaucoup moins de carbone que la fonte qui l'a produit; peut-être même l'état ou le mode de combinai-

(1) On a reconnu dans diverses usines qu'il fallait donner beaucoup de vent, plutôt qu'un vent très-fort.

son de celui-ci est-il un peu différent? En outre, quelques-unes des substances nuisibles se sont en partie séparées: le métal est plus pur, et c'est le second motif de cette opération.

On peut pousser plus ou moins loin le mazéage, et obtenir ainsi du fine métal plus ou moins *soufflé* (rempli de soufflures). Le puddleur demande qu'il soit assez fortement affiné, parce que son travail est plus tôt terminé; mais le fer, qui a *pris nature* trop promptement, reste médiocre. L'ouvrier de finerie, au contraire, voudrait le donner le moins soufflé possible, parce qu'alors le déchet est le plus faible, et que l'on paye au mille de fine métal livré.

On doit toujours se tenir entre les limites extrêmes, et se diriger, à cet égard, selon la nature de la fonte, et d'après ce que l'expérience apprend dans chaque usine.

Ordinairement un moindre déchet aux fineries, et pour une même espèce de fonte, est compensé par un plus grand déchet au puddlage, et même au réchauffage qui le suit, et réciproquement. Toutefois il y a moyen d'arranger les choses de manière à n'avoir, en définitive, qu'un déchet minimum, pour chaque espèce de fonte, et pour une certaine qualité de fer obtenue.

Pour les bonnes fontes de forge ordinaires, le déchet aux fineries n'est guère que de 10, 11 ou 14 sur 100; mais, pour de très-mauvaises fontes, il s'élève à 20, 25 et même 28 pour 100. Le puddlage et le corroyage donnant ensuite les mêmes déchets qu'à l'ordinaire, la perte sur le métal devient considérable, et le fer reste encore assez mauvais. Si on veut l'améliorer par un second corroyage, le déchet total augmente, et il arrive, comme on l'a

vu dans une des plus grandes usines à l'anglaise du royaume, que la fonte ne produit que 54 ou 55, même quelquefois seulement 52 pour 100 de fer marchand, au lieu de 70, 72 ou 75 que l'on obtient généralement en Angleterre et en Belgique.

De là un accroissement considérable dans le prix de revient du fer en barres, et une diminution notable dans le total de la fabrication annuelle, en faisant les mêmes dépenses que dans d'autres usines (1). Or, comme il est de toute évidence que ces déchets ne proviennent point de la manière dont on opère le mazéage, ou dont on pratique les opérations qui suivent, il faut en voir la cause dans la nature de la fonte, et diriger ses recherches vers les deux objets suivants : la fabrication d'une fonte plus pure, ou, comme on dit, de meilleure qualité, et ensuite sa purification ou sa conversion en fine métal, en diminuant le déchet. On conçoit l'un comme aussi possible que l'autre, et même il y a des raisons de croire que le meilleur remède aux inconvénients signalés plus haut serait de fabriquer de meilleure fonte. Malheureusement, la qualité de celle-ci dépendant de la nature du combustible qu'on ne peut pas changer, ou du moins dont le rémplacement par d'autre qui serait meilleur deviendrait trop coûteux ; et de même pour le minerai, on ne voit guère de moyen d'améliorer les fontes dans la plupart des

---

(1) Il est à remarquer que ce sont précisément les fontes qui éprouvent un très-fort déchet, surtout au mazéage, qui donnent le plus mauvais fer. Si on améliore celui-ci en le soumettant à un second corroyage, on augmente encore la perte en métal ; de sorte qu'il y a double inconvénient à fabriquer ou à acheter de mauvaise fonte de forge.

localités : l'emploi de l'air chauffé a paru plutôt défavorable qu'avantageux, sous ce rapport et dans ces circonstances.

Reste donc le travail des fineries à perfectionner : sous ce rapport, et principalement pour diminuer le déchet qui a lieu dans cette opération, les recherches qu'a publiées (1) M. Thomas, ancien élève de l'Ecole des mines, sont le meilleur guide qu'on puisse suivre ; il suffira d'en appliquer les résultats aux différentes espèces de fonte, et en ayant égard aux classifications que l'auteur a établies entre elles. Les procédés sont, il est vrai, assez délicats à pratiquer, et ne doivent pas être abandonnés entièrement aux ouvriers ; mais, en y donnant les soins convenables, on en obtiendra les mêmes avantages qu'il en a eus, lorsqu'il a dirigé lui-même les opérations, dans les usines à fer de l'Aveyron.

J'ai vu, en 1834, au Creusot, pratiquer un procédé tout à fait semblable, et consistant à projeter, dans le creuset de finerie, du minerai de fer calcaire ; mais on ne l'employait pas pour toute espèce de fonte.

Il paraît certain que c'est à l'abondance du soufre contenu dans les fontes, à la présence de cette même substance dans le coke avec lequel il se trouve en contact pendant le mazéage (2), et enfin au peu d'efficacité de cette opération pour séparer le soufre d'avec le fer, que sont dus, et l'énorme déchet que la fonte éprouve dans sa conversion en

(1) *Annales des mines*, 3e série, tom. III, pag. 433.

(2) Sous ce rapport, le mazéage exécuté dans un fourneau à réverbère présenterait des avantages ; mais jusqu'ici on n'a pas employé ce procédé.

fine métal, et la mauvaise qualité du fer en barres qu'on en obtient.

C'est moins, à ce qu'il semble, par suite de la prolongation de l'opération, faite dans la vue d'avoir un métal plus pur, que, par l'effet d'une combustion plus facile, et par conséquent inévitable, du sulfure de fer existant en nature dans la fonte; et aussi par suite d'une formation abondante de silicate de fer, lorsqu'il se trouve en certaine quantité de la silice en présence de l'oxide de fer qui se forme, ou dont elle détermine la formation, lorsqu'il n'y a pas d'autre base pour la saturer, qu'a lieu le plus grand déchet sur les fontes. Or, la silice se rencontre dans le creuset par le sable quartzeux, qui est si souvent adhérent aux gueuses que l'on coule sur le sol des fonderies, bien qu'il fût extrêmement facile de préparer un sable calcaire pour cet objet; de plus, les cendres du coke, et surtout lorsqu'elles sont abondantes, en fournissent aussi beaucoup. Sous ce rapport, les procédés que nous venons d'indiquer sont évidemment très-efficaces pour prévenir ou diminuer le déchet qui provient de cette cause, et l'expérience a prouvé qu'elle est très-influente.

Mais relativement au soufre, tant celui contenu dans la fonte que dans les cokes, on ne voit guère de moyen de le séparer (1) qu'en le brûlant par le vent de la tuyère au milieu du métal, et

(1) M. Karsten (2e édition de son *Manuel de la métallurgie du fer*, tom. III, pag. 17, § 1228) dit, conformément à ce qui précède, que « le fine métal obtenu des fineries se trouve à la fois appauvri en carbone et débarrassé de la majeure partie du phosphore, du manganèse et du silicium; » mais il ne nomme pas le soufre.

cela ne peut avoir lieu sans brûler en même temps beaucoup de fer.

Au reste, il y a des fontes tellement sulfureuses, qu'on distingue au milieu des gueuses, et dans leur cassure, des noyaux de véritable pyrite de fer; quelquefois on peut écumer à la superficie du bain de métal fondu, dans le creuset d'affinerie, du sulfure de fer liquide, qui monte et se sépare de la fonte, comme plus léger que celle-ci.

S'il est vrai, comme on l'assure, que l'on voit quelquefois, dans le four à puddler, brûler avec une vivacité et un éclat particuliers, des noyaux de sulfure de fer, qui se trouvent encore dans le fine métal, il n'est pas étonnant que le même phénomène se produise, quoiqu'on ne puisse l'apercevoir, dans le creuset d'affinerie. Dans tous les cas, la combustion d'une grande quantité de fer en doit être la suite, car le résidu de la pyrite brûlée est de l'oxide de fer.

Application de *l'air chaud* aux mazeries.

On a cherché à appliquer l'air chauffé, aux foyers de fineries, vraisemblablement dans le but de diminuer la consommation du combustible : il ne paraît pas qu'on en ait obtenu de bons effets. On a peu de détails sur les circonstances de ces essais; cependant voici ce qu'on trouve dans le journal de voyage de M. l'ingénieur des mines Gruner, sur ce qui a été fait en Silésie (1833) : « Après avoir donné l'air chaud dans les mazeries de Kœnigshütte, on observa qu'on ne pouvait travailler, chaque jour, que pendant cinq heures de suite, parce que le creuset devenait trop chaud; il se remplit de crasse, et la fonte ne blanchit plus. » L'auteur remarque, du reste, que les ouvriers, n'étant pas exercés à ce nouveau travail,

pouvaient bien ne pas pratiquer les manipulations qui auraient été nécessaires pour le faire réussir.

On conçoit d'ailleurs comment un trop fort échauffement du creuset, effet presque nécessaire de la projection de l'air chauffé, peut nuire à la séparation du carbone, puisque c'est dans une circonstance analogue, et par le seul fait d'une très-haute température, que se forme la fonte grise, très-graphiteuse, dans l'intérieur des hauts-fourneaux. Enfin, on a dit, et quelques observations semblent l'indiquer, que l'air chaud exerçait sur le fer une action moins oxidante que l'air froid, dans des circonstances semblables. S'il en était ainsi, on ne devrait pas s'étonner de voir cet air chaud produire moins d'effet que l'air froid sur la fonte pour la purifier, en oxidant les substances étrangères qui s'y trouvent réunies, d'où résulterait une prolongation dans la durée de l'opération, et un produit moins parfait qu'en employant le procédé ordinaire.

Vues théoriques sur le mazéage et le puddlage.

Au reste, soit que l'on considère ce qui se passe dans les foyers de finerie, soit que l'on veuille expliquer ce qui a lieu dans les fours à puddler, il ne faut pas perdre de vue les observations suivantes, qui sont dues aux chimistes suédois. M. Seven a fait une suite d'expériences (1), desquelles il résulte que : « dans les fours à puddler, comme dans les feux d'affinerie, la puissance d'affinage, qui a lieu par la réaction de l'oxide de fer contenu dans les scories formées pendant l'opération, ou par celles que l'on ajoute, continue de s'exercer jusqu'à ce que les scories

(1) Journal de Erdmann, 1re série, tom. XV, pag. 166.

soient devenues un bisilicate; mais elle cesse (avait dit l'auteur dans un premier mémoire), lorsque cette condition n'est plus remplie. » Mais il a modifié plus tard ce qu'il y avait d'absolu dans cette conclusion, ayant dû reconnaître que la même réaction avait encore lieu, quoique d'une manière bien moins active, pour les composés où la silice se trouve en plus forte proportion que dans les bisilicates, c'est-à-dire, pour les trisilicates et quadrisilicates; cette puissance s'affaiblissant considérablement, à mesure que la dose de silice augmente dans les scories, où par conséquent l'oxide de fer diminue dans un rapport inverse.

M. Sefström voit dans ce résultat l'indication de ceci, que l'influence du vent (de l'air lancé par une machine, ou amené par un courant naturel), dans les différents modes d'affinage de la fonte, doit s'exercer bien plutôt, ou du moins bien plus souvent, sur les scories que sur le métal (qu'elles recouvrent presque toujours lorsqu'il est fondu), et de manière à suroxider le fer combiné dans ces scories, et pour les rendre plus agissantes, plus propres à oxider les substances que l'on veut séparer du fer : elles servent ainsi d'intermédiaire à la réaction de l'oxygène, et présentent cet avantage important qu'elles ne peuvent oxider le métal.

Si cette manière de voir est fondée, et surtout si elle était confirmée par des observations ou des expériences directes, on serait conduit à admettre que la masse d'air projetée dans les creusets de finerie (et de même pour les feux d'affinerie au charbon de bois, et les fours à puddler), a pour but, et pour effet principal d'agir sur les scories,

bien plus encore que sur le métal, afin de suroxider le fer qu'elles contiennent, et de donner lieu à des silicates très-chargés d'oxide de fer, et, en un mot, de leur rendre leur puissance d'oxidation, lorsqu'elle a été épuisée par leur réaction sur les substances qu'il s'agit de séparer du fer, par oxidation.

Ces mêmes vues expliqueraient aussi cette circonstance, bien constatée d'ailleurs, des mauvais effets que produit la présence de la silice dans les creusets d'affinerie; et de l'avantage qu'on a trouvé à saturer la plus grande partie de cette substance, amenée dans ces creusets par les cendres du coke, etc., au moyen de diverses bases capables de former avec elle une combinaison aisément fusible, telles que l'oxide de manganèse, la chaux, etc.; ce qui est le fondement des procédés de M. Thomas, dont nous avons parlé.

Enfin, comme la réaction des silicates ne peut manquer d'être plus efficace sur un métal qui n'est pas très-fluide, que sur celui qui serait fondu et parfaitement liquide, peut-être trouverait-on, dans cette circonstance, réunie à ce qui vient d'être exposé, la cause des mauvais effets qu'a produits l'air chauffé, introduit dans les mazeries, et qui y élève trop la température. On peut croire que la réaction des scories était devenue insignifiante, en raison d'une trop grande fluidité du métal.

Toutefois, il faudrait avoir des observations plus nombreuses et plus exactes que celles que l'on possède actuellement, pour donner la mesure de l'influence qu'exercent séparément, sur la fonte à purifier, l'oxygène de l'air, par son action immédiate sur ce dernier, et l'oxygène combiné dans les scories en contact avec ce métal.

De l'espèce du combustible employé.

On emploie généralement le coke pour opérer le mazéage des fontes produites avec un combustible minéral. Nous avons dit que la nature du coke, et surtout la quantité souvent très-considérable de soufre qu'il contient, avaient une influence très-fâcheuse sur la qualité du fine métal obtenu. C'est pour cela que les fontes qui ont été fabriquées avec du charbon de bois, ne doivent pas être mazées avec du coke, lorsqu'on veut en obtenir de très-bon fer.

Il y a des exemples de mazéage au charbon de bois, à Fourchambault, et peut-être ailleurs.

Quant au mode d'exécution du mazéage, le procédé, en usage actuellement, présente l'avantage de permettre de fabriquer journellement une grande masse de fine métal, en employant de fortes machines soufflantes. Les foyers à six ou huit tuyères, et qui reçoivent tout l'air fourni par une force de quinze à vingt chevaux, produisent de 18 à 20.000 kilogrammes de fine métal par vingt-quatre heures, et avec une consommation médiocre de combustible.

Il serait vraisemblablement difficile d'obtenir les mêmes avantages d'une opération exécutée dans un fourneau à réverbère, même en appliquant une machine soufflante, à la purification de la fonte.

Des préparations que l'on fait subir aux fontes, pour en faciliter l'affinage au feu d'affinerie, ou pour améliorer la qualité du fer qu'on en obtiendra.

Préparations des fontes au charbon de bois.

On sait que les fontes au charbon de bois sont assez faciles à blanchir, lorsqu'elles sont grises ou truitées, et bien qu'on puisse les affiner toutes

immédiatement, et sans inconvénients, soit dans l'ancien feu d'affinerie, soit dans le four à puddler, il y a cependant des cas où il est nécessaire de refondre les gueuses d'un grand poids pour mettre la fonte sous la forme de gueusets (1) faciles à échauffer et à manœuvrer. Cette opération se fait alors dans un fourneau à réverbère, chauffé avec de la houille, ou même de la tourbe desséchée (2), et on ne doit pas négliger de la préparer en même temps pour l'affinage. Si cette fonte est de bonne qualité, il n'y a qu'à la blanchir; mais en ajoutant des scories riches, en poussière et en très-petits fragments, et en brassant le métal avec ces matières, on obtient toujours ce double résultat de rendre l'affinage de la fonte ainsi préparée plus rapide, ce qui épargne du charbon, et de fabriquer de meilleur fer, ce qui n'est pas un moindre avantage; pour améliorer le fer produit par les fontes tendres (plus ou moins phosphoreuses), il faudrait vraisemblablement joindre à l'action des scories, celle de quelques autres substances, comme l'oxide de manganèse, peut-être le sel ou le nitre, etc.

Nous pouvons indiquer plusieurs usines où l'on pratique la fusion préalable de la fonte, en ajoutant des scories de forge, comme moyen préparatoire, et dans le but d'en obtenir du fer de meilleure qualité.

A Swrintochlowitz (Silésie prussienne), on blanchit la fonte dans un fourneau à réverbère

(1) Parce qu'il serait fort difficile de les casser en morceaux, ce qui même ne remplirait pas toujours le but qu'on se propose.

(2) Comme à Kœnigshütte, dans le Wurtemberg.

analogue à ceux qui servent au puddlage, et en y ajoutant des scories. Toutefois ce procédé n'est pas toujours suivi d'un entier succès (1).

C'est, sans doute, d'après ces opérations, ou d'après les essais qui ont eu lieu avant de les rendre usuelles, que M. Karsten a publié dans ses *Archives* (2), un mémoire sur l'emploi des scories de forge (scories riches) pour préparer la fonte à l'affinage.

Le même métallurgiste décrit aussi, dans son *Manuel* (3), le procédé qui a été pratiqué à Geislautern (pays de Saarbruck), pour blanchir la fonte au moyen des scories, et la rendre semblable à de la fonte caverneuse, en l'arrosant d'ailleurs abondamment avec de l'eau, au sortir du fourneau; la consommation s'élevait à peine, dit-il, à $0^{m.c.}$,66 de houille, par 1000 kilogrammes de fonte blanchie.

Un procédé semblable est pratiqué sur de certaines fontes, à Hayange, et probablement sur des fontes tendres, dans le but d'en obtenir de meilleur fer. Je n'en connais aucun détail.

A Jaegerthal (l'une des forges du Bas-Rhin appartenant à MM. Dietrich), M. Bilfinger, directeur, a fait refondre, au fourneau à réverbère, des fontes phosphoreuses, et en les brassant avec des scories riches et de l'oxide de manganèse, il leur a donné une préparation qui en a facilité l'affinage (au charbon de bois), et qui a procuré

(1) Journal de M. Gruner, voyage de 1833.

(2) 1re série. J'en ai donné une traduction dans les *Annales des mines*.

(3) Tom. III, pag. 155, de la traduction, 2e édition. On y trouve les dimensions d'un fourneau à blanchir la fonte.

une grande amélioration dans la qualité du fer qui en est provenu; mais la consommation de la houille dans le fourneau, qui d'ailleurs n'était pas dans les meilleures proportions, s'élevait à 600 kilogrammes par 1000 de fonte, ce qui a paru trop dispendieux pour continuer : on se propose cependant de reprendre ces essais.

b) Du puddlage du fine métal ou de la fonte.

Les fours à puddler anglais sont bien connus, et tous ceux du continent qui sont employés à traiter le fine métal sont exactement semblables; on les appelle fours simples.

On a proposé d'y joindre un petit four placé du côté de la cheminée, chauffé pas les flammes qui vont entrer dans celle-ci, et destiné à donner un échauffement préalable au métal que l'on va puddler, ce qui ne peut manquer d'abréger l'opération et d'épargner le combustible; cependant, lorsqu'il s'agit de fine métal, ordinairement concassé en morceaux, et qui, en raison de cela, ne demande pas beaucoup de temps pour être amené à l'état pâteux, sur la sole de puddlage, on ne fait guère usage de ce procédé (1); au contraire, lorsqu'on affine de la fonte au charbon de bois, qui n'a besoin d'aucune préparation, pourvu qu'elle soit en petites masses de 15, 25 ou 30 kilogrammes au plus, on emploie fréquemment une petite sole à réchauffer, et on en obtient les avantages dont nous venons de parler. Entre les deux

(1) D'ailleurs le transport de ces fragments d'une sole sur l'autre, serait long et difficile; il en résulterait un grand refroidissement dans le four à puddler.

soles se trouve le vide ou flow par lequel on fait écouler les scories formées pendant le puddlage : cela oblige à sortir le métal rouge, et à le passer sur la grande sole, par la porte extérieure de chargement, opération qui s'exécute facilement et promptement sur de la fonte en gueusets (1).

Parmi les dispositions imaginées pour diminuer les frais de fabrication du fer puddlé en épargnant du combustible, il faut signaler les *fours doubles*, ou *à deux portes de travail*, *placées soit sur les faces opposées, soit d'un même côté*, et par lesquelles deux ouvriers peuvent travailler en même temps. Nous aurons occasion d'en parler ailleurs; il suffit de dire ici qu'on a fait usage de la première disposition à la Bassindre, près de Nantes, à Montataire (Oise), et sans doute ailleurs, et qu'on lui reconnaît un avantage notable sur le four simple; mais comme on n'y a pas joint de petite sole à réchauffer le métal, ce qui serait cependant très-facile à faire, et très-convenable, puisqu'on n'y affine guère que des fontes au charbon de bois, le fourneau champenois, dont nous allons parler, mérite peut-être la préférence, lorsqu'il s'agit des fontes de cette dernière espèce.

Il est encore une autre modification, dans la construction des fours à puddler, qu'il peut être utile d'indiquer, quoique je n'en connaisse pas en ce moment tous les détails, non plus que les circonstances où il convient particulièrement d'en faire usage : c'est de former les parois latérales intérieures de ces fours, avec de la fonte, mais de les faire doubles, afin de faire circuler continuellement

(1) Nous en verrons un exemple dans les fourneaux employés pour pratiquer l'affinage suivant la méthode champenoise.

un courant d'air froid (1) entre deux, pour prévenir la fusion du métal. Je crois qu'il y a des fourneaux de cette espèce à Hayange, et sans doute ailleurs; je ne puis rien dire de leurs avantages relatifs, mais j'ai lieu de penser que ces dispositions sont employées particulièrement lorsque la fonte à puddler (fonte au charbon de bois) est phosphoreuse, et par conséquent facile à fondre et à décarburer; alors elle n'exige pas une forte chaleur dans le four.

c) *Du cinglage, de l'étirage; du ballage et du corroyage du fer.*

Opérations mécaniques sur le fer puddlé.

Le cinglage des loupes de fer formées dans les fours à puddler s'opère, soit au marteau, soit à l'aide des cylindres. Lorsqu'on travaille sur le fine métal, et assez généralement lorsqu'on pratique le procédé anglais primitif, c'est avec le marteau frontal que l'on comprime les loupes. Ce marteau est ordinairement soulevé par la tête; on en voit cependant en Belgique qui sont soulevés par le milieu du manche, ce qui donne plus de facilité au forgeur pour manœuvrer autour de l'enclume.

Dans quelques usines, à l'imitation de ce qui se voit dans le pays de Galles, on comprime les loupes entre des cylindres à grandes échancrures.

Un nouvel instrument a été imaginé et employé, à ce même usage, depuis quelques années; c'est ce qu'on appelle *presse* ou *mâcheur*, dont

(1) J'ai aussi ouï parler d'un courant d'eau employé au même usage; mais j'ignore si c'est un simple essai, ou si on en a fait usage d'une manière suivie.

on voit quelques exemples en France et en Angleterre. Il n'en a été publié jusqu'ici aucune description ; ses effets paraissent tenir le milieu, sous le rapport de la séparation des scories, du soudage du fer et de la rapidité de l'opération, entre le marteau frontal et les gros cylindres. On s'en sert quelquefois seulement pour donner aux loupes une forme allongée, et les préparer à passer plus facilement et plus rapidement sous les cylindres dégrossisseurs. Cette manière de préparer les loupes semble devoir présenter des avantages sur l'usage de la masse galloise, dont on frappe les boules, dans l'intérieur du four à puddler, et avant de les porter aux cylindres.

Du ballage.

On nomme *ballage* un premier corroyage, qui n'est que préparatoire, et pour lequel on ne cherche pas à effectuer un soudage bien parfait du fer, parce que les barres doivent être soumises à un nouveau réchauffage, et à l'étirage, par des cylindres lamineurs.

On a quelquefois exécuté la partie mécanique du *ballage* avec le marteau frontal (comme au Creusot), et peut-être cette manière de procéder est-elle préférable à celle où l'on se sert des cylindres ébaucheurs, comme à Decazeville. Dans ce dernier cas, le ballage ne diffère pas du corroyage, et l'on peut dire alors que le fer est fabriqué à l'aide de deux corroyages ; ce qui augmente considérablement le prix de revient du fer marchand, et ne doit être pratiqué que par nécessité.

De l'étirage en barres.

Quant à l'étirage proprement dit, il est toujours exécuté par des cylindres, dans les usines où l'on se livre à une grande fabrication, parce que ceux-ci opèrent très-rapidement et fort exactement les changements de forme du fer, suivant un profil

déterminé; mais on pense généralement que les barres ainsi formées, du moins lorsque le fer n'a pas été préalablement bien débarrassé des scories, est moins homogène, plus imprégné de ces scories qui se sont attachées à ses fibres et les rendent grises. Enfin il est moins bien soudé et moins résistant, surtout dans le sens perpendiculaire à la longueur des barres, que celui qui a été travaillé au marteau. Le cylindre donne plus d'apparence, et le marteau plus de qualité au fer en barres; mais dans la conversion des grosses barres, en fer de petit échantillon, l'usage des cylindres n'a plus que des avantages.

Dans les usines établies pour fabriquer du fer forgé avec des fontes au charbon de bois, et qui ne sont pas très-considérables, surtout dans les anciennes forges transformées pour y pratiquer les nouveaux procédés, on a conservé l'usage du marteau pour cingler les loupes et fabriquer le gros fer, ainsi que nous le dirons tout à l'heure.

Nous n'avons rien de particulier à faire connaître relativement aux *fours à réchauffer*; nous remarquerons seulement qu'il importe, pour ces fourneaux ainsi que pour ceux qui servent au puddlage, de tirer parti des flammes et de l'excès de chaleur qui se perd par la cheminée; cela sera toujours plus avantageux, puisque l'expérience a prouvé qu'on en pouvait obtenir un effet utile très-notable, et cela sans nuire au tirage nécessaire pour entretenir une combustion active dans la chauffe, et une haute température sur la sole.

Nous reviendrons sur cet objet à la fin de ce chapitre.

Considérations sur le puddlage des fontes, et les moyens d'améliorer la qualité du fer, dans le cours de cette opération.

Considérations sur le puddlage.

Nous avons dit que la conversion de la fonte en fer malléable ne réussissait que médiocrement, ou du moins n'était pratiquée avec avantage, dans le fourneau à réverbère, que sur de la fonte qui ne restait pas longtemps liquide sur la sole, telle qu'est la fonte blanche, ou truitée blanche (1), et surtout le fine métal. Les fontes grises, au coke, sont les plus désavantageuses sous ce rapport, en raison de la tenacité avec laquelle elles retiennent le carbone, et demeurent liquides dans le fourneau.

C'est, en effet, lorsque les fontes ou le fine métal sont maintenus à l'état pâteux, ou en grumeaux, que les divers agents d'oxidation, soit l'oxygène libre contenu dans le courant d'air qui se répand sur la sole, soit l'oxide de fer qui se forme, soit enfin les scories riches ou battitures qu'on y projette, exercent le plus efficacement leur action (2) : on peut alors malaxer les ma-

(1) Toutefois les fontes au coke de cette espèce ne donneraient, par le puddlage immédiat, que de très-mauvais fer, et il est nécessaire de les convertir en fine métal.

(2) Il y a, suivant M. Karsten (*Manuel de*, etc., tom. III, pag. 173, de la traduction, 2e édition), des différences entre les fontes soumises au puddlage, qui exigent ou permettent d'employer de préférence les uns ou les autres de ces agents : « Les fontes qui demeurent longtemps dans le fourneau, sans devenir bien liquides, c'est-à-dire celles qui restent pâteuses, peuvent être affinées uniquement par le courant d'air, tandis que celles qui deviennent parfaitement liquides ne peuvent s'affiner par

tières, incorporer les agents solides d'oxidation dans le métal à affiner, et rendre les réactions plus faciles, plus rapides et plus complètes.

Pour expliquer les différentes circonstances, les phénomènes successifs que l'on observe dans l'affinage de la fonte, et qui se manifestent à l'œil, lorsqu'on opère dans le fourneau à réverbère; enfin, et principalement pour se diriger dans les essais et les différentes modifications que l'on pourrait être tenté de faire éprouver à la conduite des opérations, dans un but de perfectionnement, il ne faut pas oublier ce fait, qui a toute la généralité d'un principe, savoir que la purification des fontes ou du fine métal, c'est-à-dire la séparation des substances nuisibles au fer, d'où dépend la qualité du fer fini, ne peut jamais s'effectuer que pendant qu'il y reste une certaine quantité de carbone combinée, qui est indispensable pour maintenir la matière à purifier dans un état de demi-fluidité ou de mollesse, hors duquel toute réaction est à peu près nulle, et la purification est arrêtée. C'est pour cela que le fine métal trop fortement affiné (trop décarburé) ne donne pas généralement de bon fer.

Du procédé bavarois employé pour améliorer la qualité du fer puddlé.

Un procédé a été imaginé, en Bavière, et mis en usage dans quelques usines, et non sans succès, pour améliorer la qualité du fer, au moyen de l'addition de certaines substances, au métal, pendant le puddlage; c'est principalement sur les fontes produites avec le charbon de bois qu'il a été pratiqué, et c'est à ce cas que se rapportent

l'action directe de l'air; on est obligé de les traiter par les scories douces, dont l'oxygène ne peut agir que sur le carbone renfermé dans le métal. »

les détails et les résultats consignés par M. Elie de Beaumont dans les *Annales des mines* de 1836 (1).

Ces résultats sont favorables au procédé bavarois; mais comme les inventeurs ont annoncé qu'ils pouvaient obtenir d'excellent fer de toute espèce de fonte, et que, s'il en était ainsi, avec les moyens qu'ils indiquent, et qui ne sont ni dispendieux, ni très-difficiles à mettre en pratique, un des plus importants problèmes de la métallurgie du fer se trouverait résolu, il est utile de constater et de publier qu'il n'en est rien, et que ceux que cet objet intéresse ne doivent pas cesser leurs essais et leurs recherches à cet égard.

Il était surtout important, pour nos forges du nord et de l'est du royaume, d'avoir un procédé pour améliorer les fers provenant des fontes tendres ou phosphoreuses, si communes lorsqu'on fond des minerais en grains : malheureusement c'est précisément sur ces fontes qu'a échoué le procédé bavarois.

J'avais été témoin des essais que l'on faisait à Hayange au mois de septembre de l'année dernière (1836), et malgré la présence de l'un des intéressés au brevet, malgré la précaution qu'on avait prise d'envoyer des ouvriers à la forge de Laquint, près de Trèves, pour se former aux manipulations requises, et que l'on pratique journellement dans cette usine, où le nouveau procédé avait, à ce qu'il paraît, donné de bons résultats pour une fonte de fer fort; malgré tout cela, on n'apercevait aucune amélioration, et la suite n'a que trop vérifié les présomptions que l'on avait déjà con-

(1) 3e série, tom. X, pag. 299.

çues. Voici ce que m'a mandé, à la date du 25 avril 1837, M. Lang, directeur dans ces usines.

« Le procédé bavarois a été essayé avec une constance admirable pendant plus de six mois, dans toutes les circonstances où l'inventeur, qui lui-même dirigeait les opérations, a voulu placer son invention. Il a complétement échoué avec les fontes tendres. Avec les fontes de meilleure qualité, dont il voulait retirer du fer en tout comparable à celui de l'affinage au charbon de bois, il est bien parvenu à rendre un fer un peu plus blanc que celui obtenu avec les mêmes fontes affinées par le puddlage, mais il n'a pas atteint, à beaucoup près, ce qu'il avait promis. La consommation était énorme, et le déchet plus fort; et enfin il est parti sans avoir obtenu de résultats satisfaisants. Nous avons continué après lui sans plus de succès. . . . . « On a cessé ce travail qu'on soumettra peut-être à de nouveaux essais. Ainsi, pour nous du moins, le problème n'est pas résolu. »

Quoique ce désappointement, après de pompeuses annonces et quelques probabilités de réussir, ne soit pas fort encourageant; bien que d'autres essais encore puissent n'avoir aucun succès, nous croyons cependant qu'en raison des circonstances si favorables, dans le four à puddler, pour faire agir diverses substances sur le fer impur, et pour en séparer les matières nuisibles qui s'y trouvent combinées, c'est sur l'opération du puddlage qu'il convient de porter son attention et de diriger ses expériences; soit que l'on veuille étudier les effets des corps oxidants, tels que la vapeur d'eau, l'air chauffé, l'oxide de manganèse, le nitre, etc.; ou bien ceux des fondants, tels que le sel marin, la potasse.....

C'est dans ce fourneau seulement que l'on peut observer les changements opérés, en suivre tous les progrès, arrêter les opérations au point convenable, etc.; et, par tous ces motifs, nous avons l'espoir qu'un peu plus tôt, ou un peu plus tard, on obtiendra de semblables recherches, des résultats très-satisfaisants, et qui produiront un véritable progrès dans l'art de fabriquer le fer.

§ III. *De l'affinage mixte suivant la* MÉTHODE CHAMPENOISE.

Les fontes de forge de médiocre qualité (fontes métis ou tendres), fabriquées avec le charbon de bois, produisent généralement de meilleur fer, lorsqu'on les affine dans le fourneau à réverbère avec de la houille, que lorsqu'on les soumet à l'affinage ancien, au charbon de bois. On peut appliquer à ces fontes le procédé anglais, dans lequel on supprime seulement le mazéage, qui n'est pas indispensable pour les fontes obtenues avec le combustible végétal, et alors les opérations se réduisent au puddlage, cinglage et corroyage : c'est par là qu'on a commencé en France, et l'on voit de nombreux exemples de cette manière de travailler, dans les usines des départements des Ardennes, de la Meuse, de la Moselle, de la Nièvre, etc. Mais l'établissement d'une forge à l'anglaise exige toujours l'emploi d'assez grands capitaux, même lorsqu'on se sert de cours d'eau comme moteurs des cylindres lamineurs, etc.; d'ailleurs la fabrication ne peut être avantageuse, dans ce système, que quand elle a lieu sur une grande échelle. Si donc l'on s'en fût tenu à cette méthode, presque toutes les petites forges devaient cesser de travailler, et de grandes usines pouvaient seules se

soutenir; la nécessité a encore ici opéré un de ses miracles, et l'industrie a compté un procédé de plus.

La méthode dite champenoise, bien qu'elle ne diffère pas essentiellement de la précédente, en est cependant une modification très-distincte, dont le but principal et l'avantage remarquable consistent en ceci, qu'elle est applicable sans beaucoup de frais à toutes les anciennes forges, en conservant le foyer à tuyère qui devient un feu de chaufferie à la houille, et continuant de faire usage des marteaux tels qu'ils se trouvent établis; mais il faut ajouter aux anciennes constructions un ou plusieurs fours à puddler, selon l'importance de l'usine.

Du reste, l'affinage champenois n'employant que de la houille, la totalité du charbon de bois qui était consommé pour convertir la fonte en fer forgé, par l'ancien procédé, reste disponible pour d'autres usages, et surtout pour produire de la fonte. Le résultat final de l'application générale de ce système, de cette réserve du charbon de bois pour la fabrication de la fonte, tandis que l'affinage de celle-ci s'opérera au moyen de la houille, et quelquefois de la tourbe, sera : 1° une augmentation très-notable (elle peut être double) de la quantité de fonte qui était obtenue annuellement, en ne consommant qu'une même quantité de bois; 2° une amélioration générale dans la qualité des fers moyens; 3° enfin, une diminution dans *le prix de revient* des fers en barres, d'une qualité supérieure à celle des fers provenant des fontes au coke, excepté toutefois dans les localités où la houille reviendrait à un prix trop élevé, au-

quel cas la méthode champenoise ne serait plus applicable.

C'est en raison de ces avantages généraux et particuliers (1) qu'il est à désirer que cette méthode mixte soit appliquée dans la plupart des forges du centre et de l'ouest du royaume; mais il faut pour cela d'abord qu'elle soit bien comprise par les maîtres de forges, et ensuite qu'on leur fournisse divers éléments nécessaires pour substituer de nouvelles dispositions aux anciennes: c'est ce que nous chercherons à faire par les détails dans lesquels nous allons entrer, et qui pourront être suivis, plus tard, d'un mémoire descriptif accompagné de dessins.

La méthode champenoise n'est pas le premier essai qui ait été fait d'un *affinage mixte* pratiqué sur de la fonte au charbon de bois, et en substituant la houille au combustible végétal, dans cette opération, et dans le but de réserver celui-là aux hauts-fourneaux. Un procédé mixte a été imaginé et pratiqué pendant un certain temps à Ribnick, dans les usines royales de la Silésie prussienne (2). Il a aussi été essayé à Audincourt (Doubs), il y a quelques années, et définitivement abandonné dans cette usine.

La loupe était formée en contact du charbon

(1) Il m'a été assuré, dans l'une des forges de la Haute-Marne, qu'il n'était plus possible maintenant de fabriquer avec avantage du fer de moyenne qualité, par l'ancien procédé de l'affinage au charbon de bois, et en concurrence avec l'affinage à la houille; ainsi donc ceux qui commenceront à pratiquer ce procédé dans les petites forges de la Bretagne, du Maine, etc., auront un grand avantage.

(2) *Archives* de M. Karsten, 1re série, tom. III, pag. 107, etc.

de bois, de sorte que l'on consommait encore une assez grande quantité de ce dernier; après cela la houille servait à l'étirage des lopins. La méthode champenoise me paraît supérieure à celle de Ribnick, sous tous les rapports, lorsqu'il s'agit de fers un peu tendres; peut-être le procédé de Ribnick serait-il appliqué avec avantage aux fontes de forge de première qualité, dont le prix de vente est toujours fort élevé, parce qu'il détériorerait moins cette qualité.

L'affinage champenois, toujours pratiqué sur de la fonte au charbon de bois, se compose de trois opérations : 1° l'affinage au four à puddler (puddlage) de la fonte qui n'a subi aucune préparation; mais, pour épargner le combustible, en abrégeant la durée de cette première opération, ce métal est préalablement échauffé sur une petite sole placée à la suite de celle où s'exécute le puddlage. Cela est si généralement pratiqué, que l'on peut regarder cette disposition comme faisant partie du procédé champenois, bien qu'on l'emploie dans d'autres circonstances. Il y a aussi une autre différence entre les fours; mais elle est moins essentielle, et nous en parlerons comme particulière à ce qu'on peut appeler le *four à puddler champenois*.

Le produit ou les loupes de l'affinage (toujours plus petites que celles des fours anglais) sont cinglées au marteau, et donnent ce qu'on appelle le *fer massiau* : chaque massiau étant un prisme de fer dégrossi, qui correspond à une loupe ou boule sortie du four à puddler. Ce fer doit être encore cinglé et étiré en barres, comme on va le dire; cependant il est quelquefois vendu à l'état de *massiau* aux usines qui ont des trains de laminoirs à occuper.

2° Le réchauffage des massiaux, afin de les étirer en barres. Cette opération se fait habituellement, et sans trop d'inconvénients, en plaçant les pièces, au milieu de la houille embrasée, dans un foyer à tuyère. Ce mode de réchauffage est le seul praticable, lorsqu'on se sert des marteaux pour cingler et étirer le fer; mais, lorsqu'on fait usage de cylindres, il convient d'avoir des fours à réverbère de chaufferie, les seuls qui puissent aisément fournir tout le métal nécessaire à ces machines, qui débitent beaucoup plus que le marteau.

3° Enfin, le cinglage et l'étirage qui se font toujours au marteau, lorsqu'on suit, en son entier, le véritable procédé champenois. On croit, dans les forges de la Haute-Marne, que cette manière de comprimer le fer exerce une certaine influence sur sa qualité, et qu'elle est préférable, sous ce rapport, à celle des cylindres.

D'ailleurs, c'est toujours le marteau qui se trouve en présence du feu d'affinerie converti en foyer de chaufferie, lorsqu'on a transformé une ancienne forge en une usine à la champenoise, et il importe beaucoup de l'utiliser, la faiblesse de la plupart des cours d'eau ne permettant pas d'établir partout des laminoirs.

Il convient d'avoir, au moins, un foyer de chaufferie par chaque four à puddler en activité, et cela est quelquefois insuffisant; de même, il faudrait un marteau pour chaque chaufferie, lorsqu'il n'y a point de martinet pour l'étirage des barres : cependant le plus souvent il n'y a qu'un marteau pour deux chaufferies.

On trouve des avantages à composer une forge de deux fours à puddler, avec deux feux de chaufferie et deux marteaux, dont l'un ordinaire pour

cingler les loupes, et l'autre à volant (ou à engrenage) pour étirer les massiaux en barres.

On remarquera, dans l'exposé du procédé de la Champagne, que tout est combiné de manière à épargner la houille, dans les diverses opérations, parce qu'en effet ce combustible est fort cher dans cette contrée (1). Le prix de la houille est un élément nécessairement variable, dans chaque localité, ainsi que celui de la fonte; mais les frais de la main-d'œuvre pour les 1.000 kilogrammes de fer en barres, sont peu différents de ce qu'ils sont dans les anciennes forges au charbon de bois.

Ce que nous avons dit de l'amélioration de la qualité des fers, par l'emploi du nouveau procédé, ne doit être appliqué qu'aux fontes médiocres, dites *métis*, et non pas aux très-bonnes fontes, qui ne donneraient par l'affinage au fourneau à réverbère, que des fers d'une qualité bien inférieure à celle que l'on obtient en les traitant par le charbon de bois, dans les feux d'affinerie (2). C'est pour cela que les excellents *fers de roche*, ainsi que ceux destinés aux tréfileries (du moins pour les fils fins) sont toujours fabriqués par l'ancien procédé, à Poissons et ailleurs.

(1) On emploie tantôt de la houille de Saarbruck, qui est très-pyriteuse, et coûte de 55 à 60 fr. les 1.000 kilog.; et tantôt de la houille de Rive-de-Gier, bien meilleure, mais qui revient à 65 ou 70 fr.

(2) Cela est conforme à ce que dit M. Culmann dans la note de la page 166 (tome III de sa traduction du *Manuel* de M. Karsten) : « L'expérience m'a prouvé que les fontes de mauvaise qualité, affinées à la houille, dans les fours puddlings, donnent du fer moins cassant, qu'il ne le serait si l'affinage s'effectuait au charbon de bois; *les bonnes fontes* se conduisent d'une manière tout à fait op-

Au reste, on sait que jusqu'à présent on n'a pu fabriquer, dans les fours à puddler et avec quelque espèce de fonte que ce soit, ce qu'on appelle *du fer fort ou fer à grain*; c'est un perfectionnement encore attendu pour compléter les avantages, déjà notables, de l'affinage des fontes avec le combustible minéral.

Nous allons passer en revue les principales circonstances de la fabrication par le procédé champenois, en y joignant les résultats des diverses observations que nous avons faites ou recueillies, en suivant les diverses opérations dont il est composé.

Le puddlage de la fonte (ordinairement blanche truitée) s'opère dans deux sortes de fours à réverbère, dont nous indiquerons, plus bas, les avantages relatifs, et que l'on voit employer dans diverses forges de la Haute-Marne, etc.; ils sont d'ailleurs toujours pourvus d'une petite sole (d'environ trois pieds de longueur), sur laquelle on échauffe la fonte, avant de la charger sur la sole à puddler; on attache, avec raison, une certaine importance à cette disposition, qui permet d'abréger un peu l'opération principale, et par conséquent d'épargner de la houille, dans une contrée où elle est fort chère.

---

posée! » A la page 32, le même métallurgiste exprime que ce sont les fers tendres qui deviennent meilleurs. Enfin des expériences faites en Silésie, et rapportées dans le journal de voyage de M. l'ingénieur Gruner (1833), ont montré que de la fonte provenant de minerais phosphoreux (mine des marais) soumise au puddlage, donna de bons résultats; le fer fabriqué fut de bonne qualité, et le déchet fut faible, quoique l'opération eût été difficile et longue, à cause de la trop grande fluidité de cette fonte phosphoreuse qui était grise.

L'un de ces fourneaux est dit *four simple*, et ne diffère pas de ceux qu'on a imités des Anglais; il n'a qu'*une seule porte de travail*, et il n'y a jamais qu'un seul ouvrier puddleur qui puisse brasser dans son intérieur. Du four simple.

L'autre four, que l'on peut appeler *fourneau champenois*, présente, outre la petite sole, et la porte qui lui correspond, deux portes de travail correspondant à la grande sole, et par lesquelles deux puddleurs travaillent souvent en même temps.

Ce fourneau (qui sera décrit en détail, par la suite, et à l'aide d'un dessin exact) est plus allongé que le précédent, et reçoit aussi une charge en fonte un peu plus forte, ordinairement de 200 kilogrammes, au lieu de 170 kilogrammes, ou même moins.

L'avantage que l'on trouve à faire travailler deux ouvriers à la fois (ce qui permet de faire une charge plus forte) résulte moins d'une petite économie de charbon produite par une plus grande rapidité dans le puddlage (mais qui est compensée par un petit accroissement dans les frais de main-d'œuvre), que d'un brassage mieux exécuté, plus uniforme, et qui produit toujours du fer de meilleure qualité (avec la même fonte) que celui qu'on obtient des fours simples (1).

(1) On pourrait essayer avec espoir de succès, le fourneau double, c'est-à-dire, *à deux portes de travail* placées sur deux faces opposées, dont j'ai donné un dessin exact dans les *nouveaux procédés pour fabriquer la fonte et le fer*, *Pl.* II, *fig.* 3 (d'après ceux qui sont employés à la forge de la Bassindre, près de Nantes); on y affine, à la fois, 300 kilogrammes de fine métal, ou de fonte, et on y trouve une économie très-notable sur le

D'ailleurs, le fer provenant des fours champenois peut être étiré (au marteau) immédiatement, et n'a pas besoin d'être corroyé, tandis que celui des fours simples l'est toujours, pour atteindre à une qualité à peu près semblable à celle des fours à deux portes.

Dans ces derniers fours, et pour une charge de 200 kilogrammes de fonte, l'opération dure environ cinq quarts d'heure, et quelquefois un peu moins; il y a dix ouvriers attachés à chaque fourneau, et ils se relèvent, par moitié, toutes les huit heures.

Dans les usines du Châtellier et du Buisson (près de Saint-Dizier, Haute-Marne), qui appartiennent à M. Danelle, et sont renommées pour la qualité du fer qu'on y fabrique, on fait de 20 à 21 charges en vingt-quatre heures; on travaille pendant douze jours consécutifs sur quinze, afin de ne pas laisser refroidir les fourneaux sans nécessité; les trois derniers jours de la quinzaine servent de repos aux ouvriers, et sont employés à faire des réparations à l'intérieur des fours. La consommation en houille de Saarbruck (gros et menu pris ensemble) est d'environ 600 kilogrammes, elle serait moindre si l'on employait celle de Rive-de-Gier, toujours plus chère, et dont on fait usage seulement pour réchauffer les massiaux.

Le déchet sur la fonte n'est pas très-considérable, il ne s'élève qu'à 10 p^{r}. 100; mais nous al-

---

c mbustible; mais pour la rendre encore plus considérable, il faudrait y joindre *une petite sole* afin d'opérer un échauffement préalable de la fonte, ainsi qu'on le pratique en Champagne et ailleurs.

lons voir qu'il est bien plus grand dans l'opération qui suit, et qu'on appelle réchauffage ou *étirage des massiaux*.

Le puddlage n'offre aucune particularité importante à signaler; il suffit de dire que l'on forme dans l'intérieur du four, et lorsque l'affinage est terminé, des *boules* en plus grand nombre, et d'une masse moindre que dans les usines à l'anglaise, et cela pour les proportionner au poids des marteaux à cingler, qui ne dépasse pas 3 ou 4 quintaux métriques.

Chaque boule étant cinglée et ayant reçu la forme d'un prisme quadrangulaire court, prend le nom de *massiau*. C'est du fer ébauché, et qui, après avoir été réchauffé au blanc soudant, peut être étiré en barres sous le marteau, ou entre des cylindres; mais on se sert toujours du marteau dans la méthode champenoise proprement dite.

Du réchauffage et de l'étirage au marteau des massiaux.

Le réchauffage des massiaux se fait toujours avec de la houille de la meilleure qualité et dans un foyer à tuyère; comme nous ne nous proposons pas de donner en ce moment une description complète du procédé d'affinage champenois, nous nous bornerons à dire, sur l'opération du réchauffage, seulement ce qui est indispensable pour en faire apprécier les résultats, et surtout pour faire sentir la nécessité d'y apporter divers perfectionnements.

Il suffira de savoir que le foyer de chaufferie n'est autre que l'ancien creuset d'affinerie, légèrement modifié; le nouveau creuset carré est formé de cinq plaques de fonte, y compris celle du fond; la tuyère est presque horizontale, et l'on donne, dit-on, 200 pieds cubes d'air par minute.

L'ouvrier commence par remplir le foyer de

houille en morceaux, puis il place une pièce (un massiau) un peu au-dessus de la tuyère, et il recouvre le tout de ce même combustible; ensuite il arrange au-dessus du foyer, des barres de fer formant une sorte de grille, et destinées à supporter plusieurs massiaux ou pièces qui commenceront à s'échauffer pendant le forgeage de la première et des suivantes, de manière qu'en en prenant une à mesure du besoin pour la porter au milieu du feu, elle atteindra rapidement au rouge-blanc; les barres qui forment la grille sont supportées par une espèce d'étrier, accroché au-dessus du creuset, et la flamme, passant nécessairement entre elles, échauffe les pièces qu'elles soutiennent. C'est un moyen simple d'abréger la durée du réchauffage, en employant une petite portion de la flamme perdue.

L'ouvrier, après avoir donné le vent et pendant le chauffage, n'a pas d'autre chose à faire qu'à tenir chaque pièce bien enveloppée de houille; il jette aussi de l'eau à la surface du tas.

L'étirage se fait en deux fois, sous le marteau; en présentant la pièce d'abord par un bout, puis par l'autre, qu'on est obligé de réchauffer; pour certains fers, le métal va au feu jusqu'à quatre fois.

C'est pour exécuter cette opération de l'étirage des barres, que l'on se sert, depuis quelque temps, et avec un grand avantage, tant sous le rapport du bon emploi de l'eau motrice, que de la rapidité du travail, *du marteau à volant*, et à engrenages, dont il sera utile de donner un dessin exact et détaillé, ainsi que nous espérons pouvoir le faire incessamment.

La consommation en houille, dans l'opération du réchauffage des massiaux, est de 700 kilogrammes pour 1.000 kilogrammes de fer marchand ou étiré en barres; on ne se sert pour cette opération que de houille de très-bonne qualité, et le moins possible sulfureuse : en Champagne, on préfère celle qui vient de Rive-de-Gier, quoique plus chère, à la houille de Saarbruck, qui est plus pyriteuse, et qui d'ailleurs chauffe moins que l'autre : cela tient à ce que le soufre exerce, au réchauffage et en raison du contact de la houille, une influence nuisible sur la qualité du fer, et peut être en même temps une cause du déchet qu'il éprouve.

Consommations et déchets dans le réchauffage des massiaux.

Le déchet, qui a lieu dans le réchauffage du fer massiau, n'est quelquefois que de 15 pour 100, mais souvent il s'élève bien plus haut; lorsque le fer est remis au feu quatre fois, il peut être de 22 ou de 25 pour 100; nous allons revenir tout à l'heure sur cette circonstance importante.

Rapportons quelques résultats de l'affinage de la fonte suivant la méthode champenoise.

Dans les forges de M. Danelle (au Châtellier et au Buisson), et d'après le relevé de ses livres, qu'il a bien voulu me communiquer, les consommations moyennes, pour 1.000 kilogrammes de fer marchand, ont été, en 1836, 1° en houille de toutes qualités, pour le puddlage et le réchauffage, de 1.397 kilogrammes; 2° en fonte, de 1.436 kilogrammes.

Consommations totales dans l'affinage champenois.

Il faut remarquer que dans ces usines on donne beaucoup de soins à la qualité du fer, dont la réputation est bien établie, et qu'on ne craint pas de répéter les réchauffages pour obtenir du fer bien soudé; toutes les barres défectueuses, et les bouts de barres, sont reportés au four à puddler,

ce qui augmente nécessairement la somme des déchets.

Quelques personnes indiquent, pour ces mêmes consommations totales, 1.840 kilogrammes de houille, et 1.500 kilogrammes de fonte.

Vues relatives au perfectionnement de la méthode champenoise.

Nous terminerons ce que nous avons à dire sur l'affinage suivant la méthode champenoise, par diverses observations, et quelques vues relatives aux moyens d'en perfectionner les opérations.

Le premier objet qui doive attirer l'attention, c'est le déchet souvent très-considérable qu'éprouve le fer massiau, au réchauffage : sans doute il se brûle du fer, comme sur la forge de maréchal, mais, ce qui est plus digne d'attention, parce que cela permet d'espérer d'y remédier, c'est qu'une portion notable du fer perdu se sépare à l'état métallique, de la pièce que l'on chauffe (1); on trouve en effet, dans les *boules* ou *sornes* que l'on retire du creuset de chaufferie (à peu près tous les cinq jours), du fer mélangé avec des scories, et en assez grande quantité pour qu'on puisse en obtenir immédiatement des loupes, en les traitant dans le four à puddler; la forge de Bologne achète des usines voisines de grandes quantités de ces boules, pour en faire l'objet d'un traitement particulier.

On conçoit qu'il doit y avoir des moyens d'empêcher cette désaggrégation du fer, dont les parties séparées qui tombent dans le creuset se mêlent avec les scories qui en occupent le fond, et aug-

(1) On sait que cela arrive aussi dans la fabrication de l'acier de forge à Rives (Isère), où il se forme une loupe de fer doux, principalement pendant le forgeage des barres d'acier.

mentent ainsi considérablement le déchet, qui devrait naturellement être borné à celui qui résulte de l'oxidation du métal : peut-être faudrait-il travailler davantage les massiaux au cinglage, les battre plus chauds avant de les réchauffer, ou bien modifier le mode de réchauffage, si l'on croit qu'il ait de l'influence sur la circonstance qui nous occupe, ce que je ne suis pas porté à croire.

On sait d'ailleurs que le fer massiau, qui est assez souvent vendu pour être étiré en barres, par des cylindres, après avoir été réchauffé dans un fourneau à réverbère, présente des déchets fort variables, selon les forges d'où il provient, c'est-à-dire suivant que l'affinage de la fonte a été plus ou moins parfait, et qu'on a opéré à une température plus ou moins élevée.

Il serait bien utile de faire des essais pour chercher à diminuer le déchet qui a lieu au feu de chaufferie, et donner ainsi toute la perfection désirable à un procédé qui est destiné, nous ne craignons pas de le répéter, à exercer la plus heureuse influence sur l'industrie du fer, en France et sur le continent de l'Europe.

Nous allons encore ajouter quelques considérations qui sont relatives aux moyens propres à épargner la houille dans le réchauffage des massiaux.

Dans quelques forges de la Champagne, le foyer de chaufferie est recouvert par une petite voûte, et les pièces soumises à l'échauffement préparatoire, dont nous avons parlé, sont placées dans une espèce de rampant qui conduit les flammes dans une cheminée latérale : n'ayant point été à même d'observer cette disposition, je

n'ai aucun détail à ajouter à cette indication; mais on conçoit qu'elle peut avoir quelques avantages d'économie sur la précédente, qui est employée plus généralement, et peut-être seulement à cause de sa simplicité.

Si ce n'était la crainte de compliquer un procédé recommandable pour cette dernière qualité, on pourrait conseiller (surtout lorsqu'il s'agit de construire une nouvelle usine pour fabriquer du fer suivant la méthode champenoise) d'employer le nouveau foyer ou fourneau dit *glühofen*, dont nous avons déjà parlé, et qui est en usage à la forge de Laufen, près de Schaffouse, ainsi que dans les principales usines du grand-duc de Bade (1); on y trouverait vraisemblablement une assez grande économie de combustible.

Le nouveau feu de chaufferie, dont le creuset n'éprouverait aucun changement, présenterait alors, 1° une voûte recouvrant le feu et servant à concentrer la chaleur, et de plus à diriger la flamme dans un petit four à réchauffer, pour préparer les pièces; ce four serait d'ailleurs bien moins grand que celui de Laufen, peut-être même suffirait-il d'un rampant muni d'une porte: 2° on projetterait de l'air chauffé, dans le foyer et par une tuyère à eau (2).

(1) On n'y brûle que du charbon de bois, mais rien ne s'oppose à ce que l'on en applique toutes les dispositions à une chaufferie à vent, alimentée par de la houille donnant de la flamme.

(2) J'ai vu dans cette même usine de Laufen, un feu de chaufferie à la houille, servant à forger et souder de grosses pièces pour les machines, et qui reçoit de l'air chauffé (un peu au-dessus de 100° c.) par la flamme du foyer; on en obtient de très-bons résultats, mais je n'ai pu avoir de renseignements sur ses avantages, comparés à ceux des foyers à l'air froid.

On sait toutefois, par des expériences répétées et dont on peut voir les détails dans les *Annales* (1), que le réchauffage du fer, dans la forge de maréchal, s'exécute, avec l'air chauffé, plus rapidement et avec moins de déchet, qu'en y employant l'air froid. M. Faber-Dufaur, directeur à Wasseralfingen, et qui fait un usage continuel des forges à l'air chaud, m'a confirmé leurs avantages; il y trouve diminution dans le déchet, économie de temps et même de combustible; l'application de ce procédé au travail de l'acier n'est pas moins avantageux.

Voilà, ce me semble, des garanties suffisantes pour indiquer ce nouvel emploi de l'air chauffé pour les foyers où l'on réchauffe le fer massiau, afin de l'étirer en barres.

3° L'échauffement de l'air se ferait d'une manière simple, comme à Laufen, dans la chaufferie dont je viens de parler, c'est-à-dire en le faisant circuler dans des tuyaux de fonte qui traverseraient horizontalement la cheminée par laquelle s'échappent la flamme et la fumée (2).

On verrait plus tard s'il ne conviendrait pas de placer deux tuyères dans le foyer, un peu agrandi, et cela pour faire plus d'ouvrage, dans le même temps, et en employant un marteau à volant : cela serait utile, surtout parce qu'une seule chaufferie, telle qu'on les établit actuellement, suffit à peine pour étirer le fer produit par un fourneau à réverbère.

S'il se trouvait deux foyers de chaufferie rap-

(1) 3e série, tom. VI, pag. 37; et tom. X, p. 193 et 467.

(2) Nous donnerons les dessins des feux d'affinerie de Laufen, où l'on voit cette même disposition.

prochés et disposés de manière que l'on pût en réunir les flammes pour élever la température de l'air, et chauffer un four de préparation pour le fer, les dispositions précédemment indiquées deviendraient encore plus économiques à établir, et d'un effet plus avantageux que dans le cas d'un seul feu.

Enfin, on pourrait aller plus loin encore dans la voie des innovations, et en procédant toujours par des essais : ce serait d'employer pour brûler la houille, et dans les mêmes foyers, un mélange d'air et de vapeur d'eau, l'un et l'autre élevés à une certaine température. Ce procédé, dont j'ai indiqué dès l'année 1835 (1) diverses applications qui me paraissent mériter d'être soumises à l'épreuve de l'expérience, est en usage pour les forges de maréchal, à Stuttgard : je l'ai vu mis en pratique pour travailler des pièces de carrosserie. On y trouvait de l'économie sur le combustible, mais on insistait surtout sur ce que le fer éprouvait moins de déchet qu'en le chauffant par la méthode ordinaire, et que sa qualité n'était point altérée dans l'opération.

J'ai rapporté à l'école des Mines une forge de cette espèce, et l'essai en sera fait incessamment pour forger et souder des barres de fer et d'acier.

Considérations générales.

Considérations sur la substitution de la houille au charbon de bois dans l'affinage de la fonte.

Lorsqu'on emploie la méthode champenoise pour affiner de la fonte obtenue avec du charbon de bois, les consommations sont à peu près de 1.500 kilogrammes de houille, au plus, et de

(1) *Nouveaux procédés pour fabriquer la fonte, le fer*, etc.

1.450 kilogrammes de fonte, pour 1.000 kilog. de fer marchand fabriqué.

Pour extraire cette dernière quantité de fonte, des minerais de fer, on a brûlé environ 2.175 kil. de charbon de bois, à raison de une partie et demie pour une de fonte.

Ainsi donc, pour fabriquer 1.000 kilogrammes de fer en barres, on a consommé 2.175 kilogrammes de charbon de bois, plus 1.500 kilogrammes de houille; en tout 3.675 kilogrammes de combustibles, l'une et l'autre espèce pouvant produire à peu près la même quantité de chaleur, ou possédant un pouvoir calorifique d'environ 6.000 unités ou calories.

Lorsqu'on affine des fontes par l'ancien procédé des feux d'affinerie, on consomme la même quantité de 1.450 de fonte pour 1.000 kilogrammes de fer marchand, et en charbon c'est à peu près le même poids que celui de la houille brûlée dans l'affinage champenois, savoir : 1.500 kilogrammes (ou une partie et demie pour 1 de fer), et souvent davantage.

D'après cela, 1.500 kilogrammes de charbon de bois étant remplacés, dans le nouveau procédé (et en donnant le même résultat métallurgique), par un même poids de houille, la substitution de l'affinage champenois à l'ancienne méthode, et en la supposant générale (1), laissera donc libre et disponible, pour fabriquer de la fonte, 1.500 kil. de charbon par 1.000 kilogrammes de fer en

(1) Il faut y comprendre tous les procédés dans lesquels la houille a remplacé le charbon ; mais celui de la Champagne est jusqu'ici le seul qui puisse s'appliquer aux petites forges et devenir d'un usage général ainsi qu'on l'a vu.

barres fabriqué; or, puisque c'est cette même quantité de charbon qui est consommée dans les hauts-fourneaux pour obtenir 1.000 kilogrammes de fonte, ce sera donc aussi 1.000 kilogrammes, c'est-à-dire une quantité de fonte égale à celle du fer en barres affiné annuellement, que l'on pourra fabriquer avec le charbon épargné par l'emploi de la houille dans l'affinage de la fonte au charbon de bois.

De ces mêmes données et suppositions, nous pouvons encore conclure que la production annuelle de la fonte au charbon de bois, pourrait être augmentée dans la proportion de 1.000 à 1.450, c'est-à-dire presque comme 2 : 3, ou de moitié en sus de ce qu'elle était avant la substitution de la houille au charbon, pour affiner les fontes au bois.

Cet accroissement dans la production de cette espèce de fonte donnera lieu, toujours en supposant une consommation constante de bois, à une plus grande fabrication d'objets coulés en première fusion, ou bien à une augmentation dans la production du fer en barres, par le procédé mixte, puisque la houille ne manquera dans presque aucune localité du royaume.

L'une et l'autre de ces fabrications sont également importantes; et, si l'on supposait que tout le charbon épargné est employé à produire de la fonte de forge, et que celle-ci est en totalité affinée avec de la houille, l'accroissement dans la quantité de fer en barres fabriquée annuellement, qui serait proportionnelle à celui de la fonte, ce qui serait énorme; mais il ne faut pas se dissimuler que la transformation des anciennes forges et l'emploi des nouveaux procédés, non-seulement

exigeront beaucoup de temps, mais ne s'étendront peut-être jamais à la totalité de nos usines; de sorte que tous les calculs de statistique auxquels on pourrait se livrer à cet égard, ne conduiraient qu'à des résultats dont on ne pourrait attendre une réalisation ni prochaine, ni complète.

§ IV. *De l'emploi des flammes perdues des fourneaux à réverbère, pour chauffer des chaudières de machines à vapeur.*

Le nombre des fourneaux à réverbère s'accroît chaque jour, surtout en raison de l'extension que prend la fabrication du fer suivant la méthode anglaise; on sait que ce fourneau y est employé pour deux opérations principales, le puddlage et le réchauffage du fer.

Il importe donc de bien connaître ces sortes d'appareils, afin d'obtenir des combustibles qu'on y brûle, les meilleurs résultats, c'est-à-dire d'utiliser la plus grande quantité possible de chaleur, tout en produisant les températures dont on a besoin, dans les diverses opérations dont il s'agit : de plus, et dans le but de diminuer la consommation du combustible, il faut chercher les moyens d'employer à quelque usage, toute la chaleur qui n'est pas absolument nécessaire, ou qui ne peut plus produire d'effet dans l'intérieur de ces fourneaux, et pour chauffer les corps sur lesquels on opère.

C'est sur cet objet qu'il faut principalement appeler l'attention des métallurgistes, car, on ne saurait trop le répéter, donner un emploi utile à la chaleur qui, jusqu'ici a été délaissée et perdue, c'est l'équivalent d'une création de combustible

et lorsqu'elle peut devenir énorme par suite de l'application générale d'un procédé, ce n'est pas seulement une diminution dans le prix de revient des objets fabriqués, qui en résultera, mais une masse considérable de combustible qui deviendra libre, et susceptible d'être employée dans d'autres industries, sans que la fabrication dont il s'agit éprouve aucune diminution ; ou bien même on pourra augmenter celle-ci, en même temps que les prix de vente seront abaissés.

Les perfectionnements, dont nous voulons parler, et dont l'expérience confirme journellement les avantages, dans les usines qui les ont adoptés, n'occasionnent aucun changement notable dans les dispositions principales, ni dans la manière de se servir des fourneaux à réverbère. Il s'agit seulement de ne pas laisser perdre toute la chaleur qu'entraînent, que contiennent, ou sont encore capables de produire, les flammes et les gaz ou vapeurs, résidus de la combustion, après qu'ils ont passé sur la sole, et dont la température et le pouvoir calorifique, bien supérieurs à ce qui peut être convenable pour déterminer un tirage suffisant, dans les cheminées de ces fourneaux, laissent un excédant dont on tire bien rarement parti; cette négligence vient peut-être de ce qu'on n'en connaît pas toute l'importance? peut-être encore de ce qu'on ignore les moyens d'employer cette chaleur, ou les dispositions qu'il faut prendre à cet effet, etc.; enfin, on peut craindre qu'il n'en résulte des inconvénients imprévus et auxquels on ne saurait comment remédier?

Nous allons éclairer les uns, rassurer et guider les autres, autant du moins que cela est en notre pouvoir.

Nous entendons parler des fourneaux à réverbère qui travaillent d'une manière continue, le jour et la nuit, tels que ceux dont on fait usage pour fabriquer le fer, et qui ne chôment guère que pendant vingt-quatre heures par semaine; car, lorsqu'ils ont besoin de grandes réparations, ils sont remplacés par d'autres que l'on met à feu immédiatement, de manière que le nombre des fourneaux en activité est à peu près constant, dans les usines à l'anglaise : or, il est visible et perceptible à l'œil, dans certaines circonstances, qu'il sort par les cheminées de ces fourneaux des flammes très-abondantes (1), et qu'il se perd ainsi annuellement des quantités énormes de chaleur

(1) Cela est surtout frappant lorsqu'on est à même de contempler le spectacle que présentent pendant la nuit, les fourneaux métallurgiques, de toute espèce, et particulièrement les fours à réverbère des usines à fer; voici comment s'exprime, à cet égard, un journal quotidien : « Au bout de *la Gare*, (sur la Seine, au-dessous de Paris) est un petit village appelé *le Beau-Grenelle*;... il semble que Vulcain y ait établi ses ateliers; jour et nuit, les machines à vapeur, les cylindres d'une puissance effrayante, broient le fer, la fonte, etc. *La nuit, qu'une flamme s'élève à vingt pieds au-dessus des cheminées*, qui sont hautes comme des obélisques, *on dirait des phares; les environs sont illuminés à un quart de lieue à la ronde.* » (Feuilleton du *Temps*, du 3 décembre 1837.)

Il semble même que ce soit un des spectacles que les curieux vont chercher en Angleterre : M. Chevalier (*Lettres sur l'Amérique du nord*, tom. Ier, pag. 12), parle, en effet, des voyageurs qui se sont extasiés « *sur l'aspect fantasmagorique des feux de forge pendant la nuit.* » Cependant c'est réellement l'imperfection des procédés de chauffage, ou, tranchons le mot, l'ignorance de notre siècle qu'il faudrait prendre en pitié.

qui pourraient recevoir un emploi utile, ainsi que nous le verrons.

Mais ce n'est pas assez de ces aperçus, bien qu'ils ne puissent être trompeurs, dans ce cas; il faudrait y joindre des évaluations exactes ou du moins très-approchées, des effets qu'on en peut obtenir; malheureusement on n'a pas jusqu'ici cherché à s'en procurer, ainsi que nous allons le voir; nous ne craignons pas de le dire, la science a manqué à sa mission; peu encouragée, et sans direction, sous le rapport des applications, malgré le nombre des individus capables de bien observer, on n'obtient presque point de résultats; les données les plus simples sur les opérations journalières des usines, font défaut, lorsqu'on veut se livrer à quelques recherches ou faire quelques calculs économiques sur les procédés de l'industrie; cependant il serait facile de faire observer des faits, et de se procurer des descriptions d'opérations, de machines ou de fourneaux, et d'avoir des communications intéressantes de toute espèce; mais ce n'est pas l'objet qui doit nous occuper en ce moment, et je m'empresse d'y revenir.

Pour bien apprécier la quantité de chaleur que possèdent ou peuvent produire la flamme et les gaz qui ont passé sur la sole d'un fourneau à réverbère, ou, pour mieux dire, si l'on voulait déterminer quelle est, dans chaque cas particulier, la portion de cette chaleur, que l'on peut distraire et employer à quelque usage distinct, sans nuire au tirage du fourneau, il faudrait connaître deux choses : la quantité (volume ou poids) des gaz et vapeurs qui sortent du fourneau, et ensuite la température de ces gaz, au moment de leur entrée dans la cheminée, où ils vont se perdre, on

en conclurait aisément ensuite la quantité de chaleur qu'ils contiennent et qu'ils emportent avec eux: resterait encore à savoir s'ils ne renferment pas des parties combustibles susceptibles de brûler au contact de l'air extérieur; on ne suppose guère généralement que cela ait lieu; cependant cela peut arriver, mais d'une manière variable, et peut-être seulement comme la suite d'un mélange imparfait ou d'une trop faible proportion d'air employée pour opérer la combustion sur la grille.

Enfin, en supposant bien connue la quantité de chaleur contenue dans les flammes et gaz échauffés à leur entrée dans la cheminée, ou dans le rampant destiné à les y conduire, il faudrait encore savoir quelle est la température qu'ils doivent conserver (eu égard à toutes les circonstances où l'on se trouve), pour produire, par leur mouvement dans la cheminée, un tirage convenable, et par suite une affluence d'air extérieur, dans la chauffe, ou un courant capable de donner à la combustion sur la grille, toute l'activité dont on a besoin, et d'où dépend la température de la sole.

Mais on n'a pas mesuré la température des gaz et vapeurs, non pas seulement à leur entrée, mais même à leur sortie de la cheminée: seulement, pour quelques fourneaux à réverbère employés dans des fabriques, on a évalué la première à 5 ou 600° c.; à l'extrémité de la cheminée, elle est nécessairement moindre et variable, en raison de la hauteur de celle-ci, de la faculté conductrice de ses parois, et surtout de la quantité d'air qui a été introduite dans la chauffe, et qui s'est mélangée avec les gaz et vapeurs, ré-

s'en fera une idée, en considérant que la quantité de houille brûlée dans les chauffes par vingt-quatre heures est d'environ 20 hectolitres, ou 1.600 kilogrammes pour les fours à puddler, et de 1.800 ou 2.000 kilogrammes dans les fourneaux où l'on réchauffe le fer, avant le corroyage. Or, on sait que *les neuf dixièmes* de ce combustible sont convertis en gaz par l'effet de la combustion, et de plus que, pour cette même opération, il s'introduit dans le fourneau, une quantité considérable d'air atmosphérique.

Ainsi, la masse de gaz et vapeurs qui sortent des cheminées des fours à réverbères, par heure ou par jour, est énorme ; de sorte que, bien que la capacité pour la chaleur des substances aériformes, même dilatées, ne soit pas très-grande, le nombre des unités de chaleur entraînées et perdues journellement, avec les flammes dont il s'agit, ne peut manquer d'être immense, et doit pouvoir produire des effets notables, s'il est bien employé.

Maintenant, il importerait de savoir si la température que les gaz possèdent dans la cheminée, est nécessaire, dans sa totalité, pour produire le tirage dont on a besoin, dans chaque espèce de fourneau ? S'il en était ainsi, on n'aurait plus qu'à chercher les moyens de tirer parti des gaz et vapeurs combustibles qui peuvent échapper à la combustion, et qui se répandent dans la cheminée.

Ce serait peut-être peu de chose (1); mais tout porte à croire (et ici l'expérience confirme les conjectures, ainsi que nous le verrons) qu'on peut

(1) C'est le contraire qui a lieu pour les gaz et vapeurs sortant du gueulard des hauts-fourneaux à fer.

extraire, pour l'appliquer utilement, une portion notable de la chaleur qu'emportent les flammes, gaz ou vapeurs, et avant de les laisser entrer dans les cheminées de tirage; c'est-à-dire que l'on peut diminuer la température du courant de gaz dans l'intérieur de ces cheminées, sans porter préjudice au tirage, ni à aucun des effets du fourneau, quel que soit d'ailleurs son usage actuel ou les opérations métallurgiques qu'on y pratique.

Il faut, toutefois, user de cette possibilité avec mesure et précaution, et combiner les dispositions, à l'effet d'employer les flammes, de la manière qui a été reconnue, par expérience, comme présentant le moins d'inconvénient.

Il y a divers motifs de penser que le tirage, dans les fourneaux à réverbère, n'augmente pas, et surtout qu'il n'est pas nécessaire qu'il s'accroisse, en raison de l'activité de la combustion, dans la chauffe; de sorte qu'il y a une limite, que la température des flammes peut, sans inconvénient, ne pas outrepasser; s'il en est ainsi (et nous nous réservons le droit de le montrer dans un autre écrit sur les fourneaux à réverbère), on peut disposer de toute la chaleur excédante à celle nécessaire pour maintenir la température formant la limite dont nous venons de parler.

Ajoutons encore que, pour assurer constamment et dans tous les cas le succès des opérations métallurgiques, on a dû se ménager la faculté de produire à volonté et promptement, des températures plus élevées que celles dont on a besoin à l'ordinaire, et pour cela construire chaque fourneau de telle sorte qu'il puisse avoir un fort tirage; souvent, et à cause de cela, on y réunit quelques moyens de modérer le courant d'air, et par suite la température du fourneau, lorsqu'on le juge

convenable; mais il arrive le plus ordinairement que le tirage n'est pas sensiblement affecté d'une certaine diminution, opérée dans la température des flammes, pourvu que les orifices d'entrée et de sortie de la cheminée, restent suffisamment spacieux.

L'expérience prouve, ainsi que nous l'avons dit, que l'on peut employer avec avantage, et sans inconvénient pour le tirage, ou sans crainte de voir diminuer le degré de chaleur que doivent produire les fourneaux, les flammes qui sortent de dessus leur sole, et avant de les laisser entrer dans la cheminée verticale. Il est vrai que l'on a des exemples de ce fait, qu'il en est résulté quelquefois un accroissement dans la consommation du combustible employé dans les opérations; mais cela peut provenir, ou bien de ce que les dispositions dont on a fait usage n'étaient pas bonnes, ou bien, et plus probablement, de ce qu'on a voulu enlever trop de chaleur aux flammes, et qu'on a trop diminué la température du courant dans la cheminée; on conçoit qu'alors le tirage et la chaleur du fourneau ont pu décroître, et qu'il a fallu, pour les ramener au point convenable, augmenter la masse du combustible, en ignition, dans la chauffe.

Au reste, même dans ce dernier cas, il peut encore y avoir de l'avantage à faire servir le combustible brûlé sur la grille, et la flamme qu'il donne, à produire deux effets distincts, qui, s'ils l'étaient par des foyers séparés, consommeraient encore plus de combustible.

Mais, comme c'est alors un calcul spécial à faire, nous nous bornerons à considérer l'emploi des flammes perdues comme ne devant apporter aucun changement notable dans la consommation

des fourneaux, et pour les opérations qu'on y exécute ordinairement.

Il n'est pas certain, d'ailleurs, que l'on connaisse encore les meilleures dispositions à prendre pour employer les flammes des fourneaux à réverbère avec le moins d'inconvénients et le plus d'avantages possibles. Il convient aussi de rechercher les moyens de diminuer la température du courant qui s'établit dans les cheminées, et d'y suppléer par des dispositions qui donneraient lieu au même tirage. Jusqu'ici on a employé, comme compensation d'une faible température, dans les gaz et vapeurs dont le mouvement détermine l'affluence de l'air extérieur dans la chauffe, une grande élévation verticale des cheminées; ce qui est toujours dispendieux : on en voit des exemples remarquables, surtout pour les foyers des machines à vapeur, dont les flammes sont, en effet, considérablement refroidies par le contact des chaudières remplies d'eau, etc.; mais, pour les fourneaux à réverbère, ce serait le cas d'essayer le moyen d'accroissement de tirage proposé par M. Péclet, dans son *Traité de la chaleur* (tom. I et tom. II, p. 512 et 513, § 1612), et qui consiste à donner aux cheminées une grande largeur, au lieu d'une grande hauteur. Suivant ce physicien, ce doit être un procédé très-efficace pour déterminer un mouvement rapide des flammes, sur la sole et dans la chauffe, sans que le courant, dans la cheminée, ait besoin d'une température élevée, et prenne une grande vitesse.

Parmi les diverses applications utiles qu'on a faites, ou essayé de faire, des flammes des fourneaux à réverbère, on doit distinguer, et indiquer comme l'une des premières et des plus faciles à

Des divers emplois qu'on a faits des flammes.

exécuter, celle qui consiste à faire passer ces flammes dans un second four, ou sur une seconde sole, au sortir du premier four, qui reste toujours le principal, et, de beaucoup, le plus fortement échauffé. On voit même, dans quelques usines à cuivre, en Angleterre (1), des fourneaux où il y a trois soles, placées les unes au-dessus des autres, recouvertes d'une voûte, et chauffées par la flamme d'un même foyer. Les fours supérieurs servent à griller des minerais, et en général à préparer les matières qui doivent être fondues sur la sole inférieure.

On ne sait pas au juste jusqu'à quel point cette disposition épargne le combustible; mais il est certain qu'elle est adoptée et en usage, depuis bien des années, dans plusieurs grandes fonderies des Iles britanniques.

Il est un autre emploi des flammes perdues des fourneaux à réverbère, déjà assez répandu (2), et qui est d'une plus grande importance que tous les autres, du moins pour les usines à fer montées d'après le système des Anglais; c'est leur application au chauffage des chaudières de machines à vapeur, celles-ci servant à mouvoir des marteaux, des cylindres, et tous les mécanismes usités maintenant pour dégrossir le fer, le convertir en barres, en rails, en feuilles de tôle, etc.

On voit des usines où les flammes perdues des fours à puddler et à réchauffer, bien employées, suffisent pour produire toute la force motrice

(1) Voyage de M. Dufrénoy, *Annales des mines*, 1re série, tom. XI, pag. 213, *Pl. II*; *fig.* 6.

(2) Quoi qu'on en ait dit dans l'une des séances de l'Académie des sciences, de l'année 1837.

dont on a besoin pour travailler le fer fabriqué dans ces fourneaux, telle est l'usine de la Bassindre, près de Nantes, et quelques autres.

Ailleurs, comme à Imphy (Nièvre), à Montataire (Oise), etc., les flammes ne servent que comme auxiliaires, dans le chauffage des chaudières des machines ; leur concours a seulement pour but de diminuer la consommation du combustible brûlé pour se procurer la quantité de vapeur dont on a besoin, et qui serait toujours assuré par le service des foyers établis pour ces machines.

Les dispositions qu'il faut prendre pour conduire les flammes sous les chaudières, pour les diriger ensuite dans les cheminées de tirage, et tout cela sans nuire au succès des opérations qui seront exécutées sans interruption sur la sole des fourneaux, doivent être décrites en détail, au moyen de dessins relevés sur ce qui est mis en pratique avec succès ; ce doit donc être le sujet d'un mémoire spécial qui sera publié incessamment, nous l'espérons, par M. l'ingénieur des mines Bineau.

Nous nous bornerons à indiquer, d'après ce métallurgiste, quelques-uns des résultats qu'il a recueillis dans les usines, et qui sont de nature à faire juger des effets ou des services que l'on peut obtenir des flammes perdues des fourneaux à réverbère employés usuellement à la fabrication du fer, ce qui est notre seul but, en ce moment.

En Angleterre, où l'on n'emploie guère que des machines à basse pression et à condensation, on consomme ordinairement 6 kilog. de houille par force de cheval et par heure : or, un fourneau

de chaufferie peut fournir, par un bon emploi de ses flammes perdues, six chevaux de force, c'est-à-dire l'équivalent de 36 kilogrammes de houille par heure; c'est la quantité de combustible qu'on peut supposer devoir être épargnée par-là pendant 24 heures de travail; elle sera de 36 × 24 = 864 kilogrammes. Comme on brûle généralement 100 kilogrammes de houille par heure, dans ces fourneaux, ou 2.400 kilogrammes par jour, c'est *un tiers* de la consommation de ces appareils, qui est ou peut être appliqué à un autre usage, sans que le travail ordinaire ou le produit du fourneau en souffre.

Le four à puddler ne donne guère, par l'emploi de ses flammes, qu'une force d'environ 4 ½ chevaux, représentant 27 kilogrammes de houille, qui forment aussi le tiers, à peu près, de la consommation de ces fourneaux,

On doit faire observer que si la chaleur développée par les flammes, dont nous venons de parler, était employée à mouvoir des machines à haute pression, qui ne consomment pas autant de combustible ou de vapeur que les autres, les quantités de travail, qu'on en obtiendrait seraient plus considérables; elles pourraient être doubles ou triples de celles que nous venons d'indiquer.

Enfin, si l'on voulait avoir une appréciation, en argent, des effets que peuvent produire les flammes des fours dont il s'agit, et appliquées, comme on vient de le dire, à créer des forces motrices, et en ne considérant d'ailleurs que le combustible qu'elles peuvent remplacer; en admettant en outre, comme cela est réellement vrai dans l'Alsace, la Franche-Comté, la Champagne....., que la dépense faite annuellement pour cet objet

est de 1.000 à 1.200 francs par force de cheval, on trouverait que chaque four de chaufferie peut épargner, ou rapporter, en outre des services qu'il rend journellement, de 5 à 6.000 francs par an; et chacun des fours à puddler, qui se trouvent dans les grandes usines, toujours en nombre triple ou quadruple des chaufferies, une somme d'environ 4.000 francs.

On comprend que, dans toutes ces contrées, et même lorsque la houille ne revient qu'à 25 ou 30 francs la tonne, c'est encore un objet qui ne doit pas être dédaigné par les maîtres de forges.

Conclusions.

Après avoir exposé succinctement, mais avec toute l'exactitude qu'il nous a été possible d'y mettre, l'état de la fabrication du fer en France, et indiqué les perfectionnements qui sont, ou actuellement réalisés, dans quelques usines, ou à l'essai dans diverses contrées, il nous reste à remplir l'obligation que nous nous sommes imposée par le titre même de ce mémoire, d'examiner quel doit être, en général, l'avenir de l'industrie du fer, sur le continent? De chercher quels sont les changements, les déplacements ou les transformations que doivent subir, un peu plus tôt ou un peu plus tard, les forges de diverses sortes que nous voyons actuellement en activité; changements qui dépendront de leur situation, des procédés qu'elles emploient, de l'espèce et du prix des combustibles dont elles peuvent être approvisionnées, etc.?

Enfin, de mettre sur la voie de la solution des questions que chacun doit se faire, pour suivre

une bonne direction, et échapper tout à fait, ou seulement pour éloigner les atteintes et les suites des révolutions dont cette branche d'industrie est prochainement menacée.

Tel est en effet l'objet principal de notre travail et de nos méditations, objet dont l'importance ne peut manquer d'être sentie par tous les propriétaires et directeurs d'usines à fer, par les possesseurs de forêts, et surtout par l'administration chargée de surveiller l'industrie minérale, d'en encourager et d'en diriger les progrès.

On reconnaît généralement que tous les efforts doivent être dirigés vers l'économie du combustible, comme devant amener le plus promptement et le plus sûrement, cette diminution si désirée dans le prix des fontes et des fers : on est également convaincu que les usines qui consomment du combustible végétal, doivent, pour la plupart, modifier leur manière de travailler; substituer, autant que possible, le combustible minéral au bois et au charbon; mieux employer la chaleur produite dans les fourneaux et foyers; tirer un parti utile des quantités énormes de chaleur qu'on laisse perdre journellement, et la faire servir à la fabrication du fer elle-même.

Notre but a été de guider les maîtres de forges dans la route qu'ils doivent suivre pour opérer les changements dont nous venons de parler; et les détails dans lesquels nous sommes entrés, ainsi que les descriptions de fourneaux, d'appareils et de procédés que nous nous proposons de donner par la suite, suffiront, nous le pensons, pour opérer des perfectionnements utiles; nous ne dissimulons pas notre pensée, savoir, qu'il y a beaucoup à faire, sous le rapport des travaux métallurgiques, et de l'emploi des forces motrices, dans

la plupart des nombreuses usines à fer du centre de la France, de la Bretagne, etc. Il ne nous reste plus qu'à présenter ici le résumé de tout ce qui précède.

Nous avons signalé trois genres de perfectionnements, dans les procédés, et qui, par leur importance comme par leurs avantages bien constatés, dans quelques forges plus avancées que les autres, méritent particulièrement de fixer l'attention : 1° tout ce qui tend à épargner le combustible végétal; comme l'emploi de l'air chauffé, le remplacement du charbon par le bois à l'état ordinaire, desséché ou à demi carbonisé;

2° La substitution du combustible minéral au combustible végétal, toutes les fois que cela peut avoir lieu sans altérer la qualité que doit avoir chaque espèce de produits, et sans élever d'ailleurs le prix de revient de ces derniers; d'après ce qu'on a vu, c'est surtout pour l'affinage des fontes au charbon de bois, et en employant la méthode champenoise, que l'on modifiera avec le plus d'avantage, les anciennes forges;

3° L'emploi de la chaleur que peuvent produire, en quantité considérable, les flammes des hauts-fourneaux et des feux d'affinerie, et celles des fours à réverbère.

L'application des flammes perdues des hauts-fourneaux, au chauffage des chaudières de machines à vapeur, peut avoir une grande influence sur la situation ou le placement de ces fourneaux, en permettant de les établir au milieu des forêts, au centre du combustible et du minerai, dont les frais de transport contribuent ordinairement à augmenter considérablement les prix de revient de la fonte. La chaleur des flammes des feux d'affinerie et des fours à puddler, pourra

également être transformée en force motrice, à l'usage des forges; et, de cette manière, la nécessité des cours d'eau sera abolie; et les usines à fer en deviendront, à peu près, indépendantes, sans accroissement dans la consommation du combustible.

Ainsi, *le combustible végétal réservé pour les hauts-fourneaux, et quelques affineries qui fabriqueront des fers de qualité supérieure;... la chaleur des flammes perdues des fourneaux et foyers, employée à produire des forces motrices très-puissantes, qui n'occasionneront aucune nouvelle dépense de combustible;... l'affinage de la fonte opéré presque exclusivement avec de la houille ou de la tourbe;... l'emploi de tous les moyens connus pour épargner le combustible, dans les opérations de la fabrication du fer......* Tels sont les principes d'après lesquels seront établies, dans un avenir peu éloigné, toutes les usines à fer du continent; telles sont les conditions d'après lesquelles doivent être fondées, et établies les forges à fer, et hors desquelles celles qui existent, ne pourront guère continuer de travailler avec avantage; telles sont les vues que nous recommandons à l'attention sérieuse de tous les intéressés, et même des hommes d'état, et que l'administration ne méconnaît pas; elle recueille soigneusement tous les renseignements qui s'y rapportent, elle encouragera tous les essais qui tendent à en accélérer le développement, et avec le concours des ingénieurs des mines, elle ne peut manquer d'en propager de plus en plus la connaissance, et d'en diriger l'application de manière à en obtenir incessamment des résultats importants.

NOTE

Sur les machines soufflantes mises en mouvement au moyen des flammes perdues des hauts-fourneaux à fer (1).

La première machine soufflante, qui ait été mise en mouvement par la flamme du gueulard des fourneaux au charbon de bois, est établie à Échallonge, près de Gray, et due à MM. Laurent et Thomas, ingénieurs civils : l'idée première appartient à M. Dufournel, de Gray, et le brevet a été pris en commun.

Plusieurs machines soufflantes, du même genre, ont été construites successivement. La machine à vapeur, la plus forte jusqu'ici, est à la forge de Pouancé (Maine-et-Loire), et souffle le haut-fourneau qui produit 80.000 kilog. de fonte par mois, et les deux feux de forges qui l'accompagnent : on n'a jamais besoin de mettre de combustible sous la chaudière.

Il y a, en ce moment, trois autres machines de cette espèce en construction dans le département du Cher : deux à Saint-Florent, et l'autre à Thaumiers, et sous la direction de M. Laurent et compagnie. Ce dernier fourneau est éloigné de tout cours d'eau.

Ainsi se développe l'indépendance de position que doit procurer, aux hauts-fourneaux à fer, l'emploi bien entendu des flammes perdues qui sortent de leur gueulard, et leur application au chauffage des chaudières de machines à vapeur. Mais, jusqu'ici, il n'y en a d'exemples que pour ceux qui consomment du charbon de bois.

(1) Cette note se rapporte au § V, 1re partie, page 90 du mémoire précédent.

J'ai cru devoir accueillir la réclamation de MM. Laurent et Thomas, ingénieurs civils, à Paris, à qui un brevet d'invention a assuré la priorité de cette importante application des flammes perdues des hauts-fourneaux. Ils ont déjà fait exécuter plusieurs machines d'après les dispositions qu'ils ont imaginées, et les maîtres de forges seront peut-être bien aises de savoir qu'il y a des personnes qui ont fait leurs preuves en ce genre de construction, et à qui ils peuvent s'adresser avec confiance.

Cependant j'ai appris dernièrement (en février 1838, et seulement par la demande de permission qui en a été faite), que M. Chapard, maître de forges, se proposait d'établir, à Vandenesse, près de Pouilly (Côte-d'Or), un haut-fourneau qui ne consommera que du combustible minéral, coke ou houille, et dont la machine soufflante sera mise en mouvement par la flamme du gueulard. Il n'y aura pas de cours d'eau à portée de cette usine, si ce n'est le canal de Bourgogne. On compte sur une force de 14 ou 15 chevaux : il faut espérer qu'on en obtiendra bien davantage.

DESCRIPTION

De divers feux d'affinerie perfectionnés;

Par M. GUENYVEAU, Ingénieur en chef et professeur de minéralurgie à l'École royale des mines de Paris.

L'affinage de la fonte avec le charbon de bois a reçu, dans ces derniers temps, divers perfectionnements qu'il importe de répandre, afin de les faire adopter dans les forges, et dans le but de voir substituer à nos anciens feux, les nouveaux fourneaux qui ont le mieux réussi.

Le principal objet de ces perfectionnements a été d'épargner du combustible; on y est parvenu par diverses dispositions; et, en les réunissant et les faisant concourir à ce but, dans un même appareil tel que celui de Laufen, et des forges du grand duc de Bade, la quantité du charbon consommé pour fabriquer le fer en barres, a été diminuée de près de moitié.

Nous avons déjà eu une occasion récente (1), d'indiquer les diverses améliorations que des essais heureux ont fait adopter dans plusieurs usines à fer de la France et de l'Allemagne; nous en avons énuméré trois, dont le succès paraît assuré dans tous les cas, et pour toute espèce de fonte, et

(1) *Mémoire sur l'état de la fabrication du fer et l'avenir des forges.*

une autre dont l'avantage souffre quelques exceptions.

Ces quatre moyens nouveaux ajoutés au procédé ancien de l'affinage de la fonte, et qui ne changent rien à la manière d'opérer, au travail de l'ouvrier dans le creuset, consistent en ceci : 1° à recouvrir le feu d'une voûte assez élevée; 2° à faire chauffer la fonte hors du creuset, avant de la liquéfier; 3° à employer les flammes perdues du foyer, pour chauffer un four destiné au réchauffage du fer dont on vient de terminer l'affinage; 4° dans l'emploi de l'air chauffé, et dont l'élévation de température est produite par la même flamme du creuset.

Nous allons exposer les détails de ces dispositions dans l'ordre qui vient d'être indiqué, parce que c'est celui dans lequel elles se présentent en raison de leur simplicité, et peut-être aussi de leur importance relativement à l'économie du charbon.

I. *Des feux d'affinerie recouverts d'une voûte.*

On a sans doute eu depuis longtemps la pensée de recouvrir les feux d'affinerie par une voûte, afin, comme on dit, de concentrer la chaleur, ou plutôt pour ajouter à celle qui est appliquée dans le foyer, l'effet de l'irradiation d'une voûte; ce que l'on voit d'ailleurs pratiqué dans les opérations du raffinage de l'acier.

Cette conception a été réalisée, il y a près de trente ans, dans quelques forges du Nivernais, puis abandonnée, et en quelque sorte oubliée, jusqu'à ce que l'élévation du prix du charbon de bois ait obligé de recourir à tous les moyens propres à

en diminuer la consommation, dans le travail du fer.

MM. Riondel et Poirier sont les premiers qui aient fait travailler avec succès, dans un feu recouvert d'une voûte, établi dans leur forge de Prémery (Nièvre) (1(.

« Leur but était de diminuer la consommation du combustible, en évitant la déperdition de la chaleur, et en la concentrant dans le foyer.

»Pour cela, ils ont entouré chaque feu, sans y rien changer d'ailleurs, d'une maçonnerie en briques voûtée, et n'ayant d'autres ouvertures que celles nécessaires pour la manœuvre des ouvriers, et l'issue des gaz qui résultent de la combustion.

»Ils ont remarqué que l'on économisait ainsi une grande quantité de combustible, et que l'opération allait plus vite qu'à l'ordinaire; mais les ouvriers se sont plaints de n'avoir pas toute l'aisance possible pour travailler dans le foyer, et d'être extrêmement incommodés par la chaleur que lancent sur eux les briques. Ils ont aussi prétendu que le fer perdait quelque chose de sa qualité : ces inconvénients ont déterminé presque tous les maîtres de forges à abandonner ce procédé » (2).

C'est cette même disposition, dont les avantages étaient déjà constatés depuis longtemps, ainsi qu'on vient de le voir, et qui a le mérite d'être applicable, sans grande dépense, à tous les anciens feux

(1) La disposition de leur feu est représentée par les *fig*. 10 à 14 de la Pl. I du *Journal des Mines*, t. XXXV, année 1814.

(2) *Idem*, p. 390.

d'affinerie, qui a été reproduite, ou peut-être inventée de nouveau, comme cela arrive souvent; et on la trouve actuellement employée dans un certain nombre d'usines de la Champagne et de la Franche-Comté : toutefois, il ne paraît pas que l'on ait remédié aux inconvénients dont on s'était plaint anciennement.

Les *fig.* 1 à 3 de la *Pl. I* (1) représentent le feu d'affinerie couvert de la forge de Bondreville (Côte-d'Or); les dimensions tracées ne sont pas rigoureusement exactes, mais suffisantes pour qu'on puisse exécuter une disposition semblable partout où on le voudra.

Ce feu produit 900 kilog. de fer en barres par 24 heures. La consommation en fonte est de 1.330 kil. pour 1.000 kil. de fer marchand; on n'a pu savoir exactement la consommation en charbon dans cette forge; mais il est certain qu'elle est beaucoup moindre que dans les affineries ordinaires, et on assure que la diminution produite par l'emploi de la voûte, est entre $\frac{1}{5}$ et $\frac{1}{7}$ de l'ancienne consommation.

J'ai déjà eu occasion de rapporter que, dans quelques usines où les feux sont recouverts, cette économie sur le charbon, était de 30 à 36 pieds cubes par 1.000 kilogrammes de fer fabriqué; c'est un peu moins de $\frac{1}{6}$ de ce qu'elle était dans ces mêmes forges.

Outre l'inconvénient d'une plus grande chaleur éprouvée par les ouvriers, on a bien réellement reconnu que la qualité du fer obtenu par ce pro-

(1) Voyez l'explication des *Planches I et II* à la fin du Mémoire.

cédé, est un peu inférieure à celle du métal préparé dans les feux ouverts.

Suivant quelques maîtres de forges, cela tiendrait principalement à ce qu'il tombe assez fréquemment de la voûte, et sur le fer, surtout quand on le réchauffe pour l'étirer, des matières plus ou moins bien fondues (combinaison de cendres, de sable et d'oxide de fer), qui s'étaient attachées aux parois intérieures de cette voûte, après avoir été entraînées par le vent de la tuyère; ces matières, en s'incrustant dans les barres par l'effet de la compression du marteau, le rendent plus ou moins pailleux.

M. de Larbre, maître de forge près de Saint-Dizier, croit que la diminution observée dans la qualité du fer que l'on fabrique dans les foyers couverts, dépend de ce qu'il est presque toujours plus ou moins *grillé* (ou brûlé); cela vient de ce que l'affineur ne travaillant pas assez vite son fer lorsqu'il est complétement purifié, ce métal se brûle, et ne peut plus ensuite prendre du nerf.

Néanmoins, on voit cette disposition employée dans les forges qui produisent le meilleur fer de la Champagne, celui qui est dit *de roche*, et parce qu'il n'est plus possible, à l'époque actuelle, de négliger rien de ce qui peut procurer une économie notable de charbon.

Le chauffage préalable de la fonte, avant de l'introduire dans le creuset où elle doit être fondue, peut être pratiqué avec une grande facilité dans les foyers couverts d'une voûte; il suffit de ménager dans l'un des pieds-droits (soutiens) de la voûte, une banquette sur laquelle on placera des saumons de fonte, au moyen d'une ouverture extérieure à fermeture; on les fera

tomber ensuite dans le creuset lorsqu'on commencera un nouvel affinage.

Toutefois, cet échauffement préliminaire est le plus ordinairement pratiqué dans des fours accessoires, qui servent en même temps à réchauffer le fer à étirer; nous allons indiquer tout à l'heure ce genre de perfectionnement.

Quant à ce qui concerne spécialement l'échauffement de la fonte à affiner, il nous suffit de dire qu'il ne peut manquer de produire une certaine économie de charbon, mais que ce procédé ne convient pas pour toute espèce de fonte (1), surtout pour celles qui demandent à être fondues lentement sous le vent de la tuyère, c'est-à-dire pour les fontes *tendres* ou phosphoreuses; car alors, ainsi que l'expérience l'a montré, la qualité du fer a toujours paru diminuée; et, en effet, la condition dont nous venons de parler ne se trouve plus remplie, parce que la fusion de la fonte déjà chauffée au rouge s'effectue nécessairement avec rapidité.

II. *Des feux d'affinerie accompagnés de fours à réchauffer le fer.*

Il y a maintenant en France et en Allemagne un certain nombre de forges où l'on voit des feux d'affinerie accompagnés de fours à réchauffer le fer, et qui reçoivent les flammes perdues des foyers immédiatement au sortir du creuset; pour introduire ces flammes dans les fours à sole horizontale, il est indispensable de la détourner de sa direction

(1) *De l'état de la fabrication du fer*, IIe partie, chez Carilian-Gœury, libraire, quai des Augustins, 41.

verticale, et, par suite, tout naturel d'employer, pour obtenir ce résultat, une voûte qui recouvre le feu et conduise la flamme qui en sort vers une ouverture qui sera l'entrée de la sole; c'est ainsi que, le plus souvent, on trouve réunis ensemble, et pour concourir au même but, la voûte et le four à réchauffer, sans qu'on se soit d'ailleurs rendu compte de l'effet qu'aurait pu produire, employé séparément, chacun de ces perfectionnements; leurs avantages, se trouvant confondus, ne pouvaient manquer d'être notables, et partout on s'est bien trouvé de ces dispositions : les mieux entendues, parmi celles que j'ai vues ou dont j'ai eu connaissance, sont établies à Hayanges (Moselle), à Haraucourt, près de Sedan, à la forge de Cran (près d'Annecy, Savoie); enfin à Audincourt, près de Montbéliard, on a réuni les flammes de deux feux d'affinerie pour échauffer plusieurs fours où on la fait passer successivement, et où elle sert à chauffer des tôles à fer-blanc qu'on lamine sous des cylindres; on a obtenu de ces constructions bien simples, une économie considérable sur la houille qui était consommée auparavant pour cet objet, car on a pu supprimer entièrement les fours à réverbère qu'on employait pour exécuter ce réchauffage.

Nous ne donnerons pas de description des feux d'affinerie munis seulement de fours accessoires ou soles à réchauffer, parce que leur disposition se trouve comprise dans les appareils ou fourneaux dont il nous reste à parler, qui sont encore plus perfectionnés que ceux-là, en ce qu'ils comprennent un appareil à chauffer l'air, et que l'objet principal de ce mémoire est de les faire connaître.

III. *De l'emploi de l'air chauffé pour l'affinage de la fonte, dans les feux d'affinerie.*

Je n'aurais rien à ajouter à ce que j'ai publié récemment (1) sur les effets et les résultats produits par le vent chaud appliqué à l'affinage de la fonte, si je n'avais eu connaissance, depuis cette époque, de divers essais et expériences faites dans plusieurs forges de l'Allemagne, et notamment aux usines royales du Hartz et de la Silésie prussienne; ces résultats et les conclusions qu'on en a déduites devant être considérés comme ayant toute l'exactitude que comporte la matière, nous croyons devoir en donner un résumé succinct, d'après le mémoire de M. Wachler de Malapane (2).

L'auteur a traité les principales questions qui se rapportent à l'affinage par l'air chauffé de diverses espèces de fonte : les unes fabriquées à l'air froid, et les autres à l'air chaud. Des affinages

---

(1) *Mémoire sur l'état de la fabrication du fer et de l'avenir des forges*, IIe partie.

(2) Imprimé dans les *Archives de M. Karsten*, pour 1837, tom. X, pag. 703.

Ce Mémoire est d'un assez haut intérêt pour que l'on en fasse une traduction complète, et pour qu'on l'insère, au moins par extrait, dans les *Annales des Mines*, afin de faire connaître tout ce qui se rapporte à divers appareils pour chauffer l'air, à la construction des buses et tuyères, aux dispositions propres à donner à volonté de l'air chaud ou de l'air froid, dans les foyers et fourneaux; enfin les changements qu'il peut être utile de faire dans la manière accoutumée de *monter le feu*, lorsqu'on remplace l'air froid par l'air chauffé (p. 203).

comparatifs ont été faits sur l'une et sur l'autre, et si l'on a trouvé (comme en France) que l'opération était un peu plus difficile sur les dernières, et en se servant du vent froid, l'échauffement de l'air a rétabli l'égalité sous ce rapport; car il a été bien reconnu, par les expériences faites à Kœnigsbronn (Wurtemberg), que l'affinage de la fonte fabriquée avec le vent chaud s'opérait bien plus aisément avec l'air chauffé qu'avec l'air froid. Ce fait a été également constaté dans une des forges de la Franche-Comté, près de Besançon. Quant à l'influence du nouveau procédé d'affinage sur la qualité du fer obtenu des fontes tendres, ou phosphoreuses (*sphœrosidérite*), l'auteur constate seulement que l'affinage à l'air chaud a également bien réussi, surtout en graduant la température de l'air projeté

En France, aux forges du Bas-Rhin, on a obtenu une amélioration notable dans la qualité du fer, ainsi que je l'ai déjà rapporté.

Les résultats des essais et expériences comparés, faits aux Hartz avec le plus grand soin sur l'affinage de la fonte (1) effectué avec l'air froid et avec l'air chauffé (à une température de 150 à 200° R. = 250° c., pendant toute la durée de l'opération), sont les suivants (2) :

1. Il se forma moins de scories qu'à l'ordinaire, ce qui prouve que le vent chaud ne scorifie pas le fer plus que l'air froid, et il en résulte un produit plus considérable.

---

(1) La fonte, fabriquée à l'air chaud, n'a pas consommé plus de charbon pour être affinée, que la fonte à l'air froid.

(2) *Archives de M. Karsten*, t. X, pag. 715.

2. Il y a moins de battiture formée au *cinglage* des loupes, et en conséquence le fer est plus soudable, ce qui est très-évident lorsqu'on le forge.

3. L'affinage, en raison d'une marche plus lente (*rohgange*), exige plus de temps.

4. On épargne un peu de temps au forgeage.

5. La consommation du combustible est diminuée d'une quantité notable, puisqu'on épargne toujours plus *du quart* de celui qui est brûlé, quand on affine avec de l'air froid.

6. En raison de la lenteur de l'affinage par le vent chaud, les scories crues, très-liquides, exercent une action destructive sur la plaque du fond du creuset et sur la tuyère.

Pour remédier à ces inconvénients, et en même temps à la marche trop crue de l'affinage, on a employé les divers moyens que voici :

a). Un rétrécissement du creuset; *b*) on a monté le feu plus plat; *c*) on a ajouté une plus grande proportion de scories douces et de battitures; *d*) on a ajouté de la ferraille.

7. Il y a une diminution dans la quantité de scories formées; et les plus riches parmi celles-ci, contenant une moindre proportion de fer qu'à l'air froid, c'est une preuve que l'air chaud est moins oxidant et plus favorable à la réduction que celui-là.

8 et 9. Quant *au rendu* de la fonte à l'affinage et à la consommation du charbon, on voit : *a*) qu'à Kœnigshütte (Silésie), celle qui donnait à l'air froid 77,50 p. 100 de fer, a donné 79,49 avec l'air chauffé; et en consommant 169 liv. de

charbon dans le premier cas, et seulement 157 dans le second; *b*), à *Elend*, au Hartz, de la fonte fabriquée au vent froid, qui a rendu à l'air froid 76,47 de fer, en consommant 151 liv. de charbon, a donné par le vent chaud 78,97, et consommé 151 liv. De la fonte fabriquée au vent chaud, qui rendait au vent froid 77,02, a rendu 78,97; à Rübeland (Hartz), le rendu de la fonte fabriquée au vent froid, a été de 75,10 par l'affinage à l'air froid, et en consommant 163 liv. de charbon; en l'affinant avec de l'air chauffé, on a eu 79,33 de fer, et on a brûlé 113 de charbon.

A Tanne, on a eu les nombres 75,85 et 77,97 pour le fer rendu, et pour la consommation, 189 et 185 kil. de charbon à l'air froid et à l'air chaud employés pendant l'affinage. On a fait aussi à Silberaaler-Hammer, des essais d'affinage avec *un mélange d'air chauffé et de vapeur d'eau*; le rendu de la fonte a été peu différent de celui obtenu avec l'air chaud employé seul, mais la consommation du charbon a été diminuée de 155 kil. à 144 kil., toujours pour 100 kil. de fer en barres fabriqué; nous reviendrons sur ce nouveau procédé.

En résumé : *le rendu* en fer, par l'affinage à l'air chauffé, a été augmenté de 4 p. 0/0, la qualité du fer étant demeurée très-bonne, puisqu'il ne s'est trouvé que 7,3 p. 0/0 de barres qui n'ont pu supporter les épreuves (1); nous avons dit que l'économie de charbon était souvent de un quart.

L'auteur ajoute, après l'exposé de ces divers ré-

(1) *Archives de M. Karsten*, même volume, pag. 713.

sultats, qu'on ne saurait douter que les avantages signalés dans les expériences, ne deviennent encore plus considérables, lorsque les ouvriers auront acquis l'habitude de cette nouvelle manière de travailler.

D'après diverses observations, on a cru, dans quelques forges, qu'il était avantageux de n'employer le vent chaud qu'au commencement de l'opération, pendant le réchauffage des barres à étirer, et jusqu'à ce que la fusion de la fonte fût complète; on a même pensé qu'il convenait de faire varier cet emploi de l'un et de l'autre, suivant les époques de l'affinage (1).

Il a semblé que le métal demeurait trop longtemps liquide au fond du creuset lorsqu'on employait un vent trop chaud à la fin de l'opération, et dans quelques essais on a obtenu un bon résultat, en diminuant et réglant la température de l'air projeté ainsi qu'il suit :

	A Abstgemünd.	A Kœnigshütte.
Pendant le forgeage des barres	205° R.	137° R.
— l'affinage lent (*Rohfrischen*).	168	140
— l'affinage vif (*Gaarfrischen*).	172	125
— l'avalage.	184	123

Au reste, sous le rapport de la diminution qui a lieu, soit dans le temps employé, soit dans la quantité de charbon consommé, l'avantage de l'emploi du vent chaud résulte principalement de ce que le forgeage s'exécute plus rapidement,

(1) *Idem*, pag. 714.

ainsi que la fusion de la fonte; et cela est surtout important lorsque, comme en Allemagne, on forme des loupes qui dépassent le poids de un quintal métrique (1).

IV. *Description des feux d'affinerie dits* Glühofen, *employés à Laufen (près de Schaffouse), et dans les forges du Grand-Duc de Bade.*

Le nouveau feu d'affinerie (2) imaginé et employé à la forge de Schaffouse, chez MM. Neehr, ainsi que ceux que l'on a construits d'après ce modèle dans les forges grand-ducales, présentent un creuset formé de plaques de fonte, comme à l'ordinaire, mais accompagné de différentes dispositions accessoires, qui consistent en ceci : 1° une voûte établie au-dessus de ce creuset, et destinée surtout à changer la direction du courant de flamme, pour la conduire dans...; 2° le four à réchauffer, qui est, à proprement parler, le *glühofen*; il est chauffé par la flamme perdue du foyer, et sert à réchauffer la fonte avant de l'introduire dans le creuset, et aussi le fer provenant d'un affinage précédent, pour l'étirer en barres; 3° enfin, l'appareil dans lequel l'air est échauffé avant d'être lancé dans le foyer.

Si l'on ne voulait pas faire usage du vent chaud on pourrait supprimer l'appareil de tuyaux dont il s'agit, et cela ne changerait rien aux dispositions principales de ce fourneau; enfin, si l'on ne trouvait pas avantageux de soumettre la fonte

---

(1) *Idem*, pag. 728.
(2) Voyez la *Pl. II*.

à un échauffement préliminaire, il suffirait de s'abstenir de la placer dans le four à réchauffer.

1° *Du fourneau d'affinage de Laufen*

L'usine à fer de Laufen, située près de Schaffouse, et qui compose une petite partie du paysage qui encadre la célèbre cataracte du Rhin, se compose d'un haut-fourneau, d'un cubilot, de deux feux d'affinerie construits suivant les nouvelles dispositions que nous allons faire connaître; d'un ou deux foyers de chaufferie à la houille, et alimentés par de l'air chaud; il y a des marteaux, des martinets, etc. Le vent est fourni par de belles trompes en fonte, les unes de 12, les autres de 16 mètres de hauteur, et qui reçoivent l'eau du fleuve, prise à la partie supérieure de la chute.

MM. Neehr ont essayé, dès l'origine, d'employer l'air chaud dans leurs affineries, et s'en sont bien trouvés; l'appareil, dont ils faisaient encore usage il y a deux ans, permettait de donner à volonté le vent froid et le vent chaud; et, en effet, on n'employait ce dernier que pendant le forgeage; c'est ce qu'on peut voir dans le mémoire de M. Combes, ingénieur en chef(1), qui a visité cette forge en 1834.

Maintenant, et d'après les dispositions du nouvel appareil, le vent est employé constamment chaud pendant toute la durée de l'affinage.

Le fourneau, dit *Glühofen*, était en activité depuis environ huit mois, lors de mon passage à Schaffouse, en juillet 1837; les *fig.* 1 à 4 de la

(1) *Annales des Mines*, troisième série, tom. VI.

Pl. II (1), montrent toutes les parties de ce nouveau fourneau, et on les distinguera fort aisément dans la coupe, *fig.* 2.

Les parois extérieures sont en fonte de fer, en plaques, qui forment le revêtement de la maçonnerie en briques; le fourneau est isolé, et dans tous les cas il doit être abordable, non-seulement en face, mais sur les deux côtés latéraux.

Le creuset où s'opère l'affinage de la fonte n'a éprouvé aucun changement, non plus que l'opération en elle-même, c'est pourquoi nous n'avons rien de particulier à en dire.

On voit que la flamme, au sortir du creuset, va d'abord frapper la voûte qui est au-dessus, puis de là se répand dans le four à réchauffer, et, passant dans la cheminée, enveloppe les tuyaux en fonte où circule l'air qui est poussé par la machine soufflante, et se rend à la tuyère, après avoir été échauffé convenablement.

Le four, qui est proprement le *Glühofen*, présente, sur la même face, deux portes fermant à bascule, par lesquelles on introduit le métal à réchauffer sur la sole; ce métal consiste, 1° dans la fonte (en saumons) que l'on place près du creuset, afin de l'y faire tomber plus facilement, lorsqu'un affinage est terminé; l'affineur la reçoit, l'arrange convenablement, et la recouvre de charbon pour la faire fondre; 2° dans les barres de fer provenant de l'opération précédente, et que l'on place sur la sole formée de briques réfractaires, ainsi que la voûte; on les introduit par l'une et l'autre

(1) Voyez l'explication des *Planches I et II* à la fin de ce Mémoire.

porte; elles sont chauffées dans une position transversale à l'axe du fourneau, et leur extrémité, passant par-dessous les portes, se montre à l'extérieur.

L'appareil de chauffage pour l'air est extrêmement simple et remplit très-bien son objet; il consiste, comme on voit, en un tuyau qui traverse plusieurs fois la cheminée dans laquelle s'élèvent les flammes et les fumées; les joints de ces tuyaux sont extérieurs, de manière qu'ils sont moins échauffés que le reste, et que les luts résistent longtemps; une porte permet de pénétrer dans l'intérieur de cette cheminée pour nettoyer l'extérieur des tuyaux.

Cette même disposition est employée avec succès pour chauffer l'air lancé dans le haut-fourneau de cette usine; seulement il y a un tuyau horizontal de plus. Le diamètre extérieur des tuyaux est de 8 po., leur épaisseur est de $\frac{1}{2}$ po. pour les deux inférieurs, et de $\frac{1}{4}$ de pouce pour les deux supérieurs, dans *le Glühofen*.

De l'affinage. La fonte est blanche et sous la forme de gueusets de 20 à 25 kilog.; elle provient du fourneau de Plons, près de Sargans (1).

On affine à la fois 300 liv. (150 kilog.) de cette fonte, que l'on fait passer de la sole à réchauffer dans le creuset, et qui se trouve alors au rouge vif: la manœuvre est facilitée au moyen d'un ringard supporté par une chaîne à crochet attachée à une potence tournante.

L'air, à la tuyère, est constamment à une température de 200°R., suivant ce que l'on m'a assuré,

(1) Voyez le Mémoire de M. Combes, dans les *Annales des Mines*, 3e série, tom. VI.

et on le donne pendant toute l'opération, ce qui n'avait pas lieu en 1834.

L'affinage dure environ trois heures; le déchet sur la fonte est communément de 20 p. o/o, c'est-à-dire que l'affineur rend 80 de fer pour 100 de fonte qu'on lui a donné; mais il rend quelquefois 83 ou 85. Ce résultat, plus avantageux que celui qu'on obtient ailleurs, se retrouve dans les forges Grand-Ducales, et n'est point dû aux nouveaux appareils; mais le réchauffage de la fonte et du fer à étirer, se faisant maintenant dans le Glühofen, cela permet de fabriquer un tiers de plus de fer qu'on ne pouvait le faire dans les anciens feux; à Laufen, le produit d'une semaine (6 jours de travail) est d'environ 4.000 kilog.

La consommation en charbon est de 10 pieds ½ cubes pour 100 liv. de Bade (équivalant à 50 kil.) de fer en barres; c'est donc 21 pieds cubes de Bade pour 100 kil. (1). Lorsqu'on travaillait à l'air chauffé seulement, et sans réchauffer la fonte ni le fer dans un four accessoire, on consommait 30 pieds cubes de charbon; plus anciennement encore, dans le simple feu d'affinerie, c'était 40, 44, et jusqu'à 48 pieds cubes.

La diminution totale qu'a procuré le fourneau actuel que nous avons décrit, est donc de près de moitié; à la vérité et, comme on l'a vu, cet appareil réunit les meilleures dispositions imaginées jusqu'ici pour épargner le charbon : voûte qui recouvre le feu, réchauffage de la fonte et du fer, enfin emploi de l'air chaud. On m'a dit que la construction d'un fourneau tel que celui de Laufen pouvait coûter de 8 à 900 fr, supposé que

(1) Le pied de Bade $=0^{m},30$.

l'on trouve tout établis la machine soufflante, la halle, etc.

2° *Des feux d'affinerie, dits* Gluhofen, *construits dans les usines du grand-duc de Bade*, *en* 1837.

Lorsque j'ai visité les forges de *Hausen* et de *Albrück*, on y construisait de nouveaux feux d'affinerie, imités de ceux de Laufen (1); seulement on en avait accolé deux l'un à l'autre, afin de leur donner une cheminée commune, comme on le voit par les *fig.* 4 à 8 de la *Pl. I.*

Les anciens feux, que l'on allait remplacer, n'avaient rien de particulier, si ce n'est qu'on y avait adapté un appareil pour chauffer l'air, et consistant en un serpentin en fonte, dont les spires, placées au-dessus du creuset, étaient constamment environnées de la flamme qui s'en échappe pour passer dans la cheminée: celle-ci étant fort large à sa base, et le serpentin non plus que la flamme, n'étant point renfermés, l'air extérieur se mêle à celle-ci et la refroidit, ainsi que le serpentin; aussi l'air n'est-il jamais chauffé qu'à une température médiocre, et à la tuyère la chaleur ne s'élève pas à plus de 80, 85 ou 90° R.; cependant on obtient des effets avantageux. On assure que la consommation en charbon, et pour 50 kil. de fer en barres, a été réduite, par l'effet de ce seul changement, par le travail au vent chaud, de 22 ou

(1) On a aussi remplacé, dans les forges du prince de Furchtenberg, à Hammereisenbach, les anciens feux par des fourneaux analogues à celui de Laufen, quant au but; mais les dispositions en sont moins avantageuses. J'ai appris qu'on avait cessé d'employer les dispositions primitives.

24 pieds cubes, à 16 ou 18 ; on évalue dans ces forges l'économie à 17 p. 0/0, terme moyen (1).

Ce moyen de chauffer l'air, très-simple et peu dispendieux à établir, puisqu'il ne demande que des tuyaux placés au-dessus du feu, et l'élévation des soufflets à 6 ou 7 pieds environ, doit être considéré plutôt comme un mode d'essai que comme une disposition à conserver; on y reconnaît d'ailleurs les mêmes inconvénients qu'on a éprouvés à Zinswiller (Bas-Rhin), et dont j'ai parlé précédemment.

Les nouveaux feux d'affinerie, représentés par les *fig.* 4 à 8 de la *Pl. I* (2), ne montrent de différence avec celui de Laufen (*Pl. II*) que par le changement qu'on a fait à l'appareil de chauffage pour l'air, en substituant aux tuyaux placés dans la cheminée (*fig.* 2 et 4, *Pl. II*) une boîte en fonte fixée au-dessus du foyer, et dans laquelle circule l'air que l'on veut échauffer.

Je ne connais pas les motifs qui ont déterminé ce changement; je n'y vois d'autre avantage que celui de ne pas être obligé d'élever autant le point d'entrée de l'air dans l'appareil, ce qui n'avait, il est vrai, aucun inconvénient avec les trompes de Laufen; mais il est à craindre que la boîte ne souffre beaucoup de l'action immédiate de la

(1) On pensait toutefois qu'elle pourrait être plus considérable, en employant de l'air plus fortement échauffé.

Lorsque j'ai dit que dans plusieurs forges, en France, on n'avait obtenu aucun avantage en affinant à l'air chaud, on m'a répondu que cela pouvait tenir à ce qu'on affinait toujours très-vite dans nos usines : différents faits, venus à ma connaissance, m'ont paru confirmer cet aperçu.

(2) Voyez l'explication à la fin du Mémoire.

flamme; qu'elle ne se brise par des variations brusques de température, ou par une bouffée d'air froid; enfin, il s'y attachera vraisemblablement des matières entraînées par le vent de la tuyère, qui se vitrifieront à sa superficie, qu'on n'en pourra séparer que bien difficilement, et qui nuiront nécessairement au chauffage de l'air.

Ces nouveaux feux d'affinerie ont dû être achevés, et peut-être ont été mis en activité, vers la fin de l'année dernière, 1837; je ne sais point quels sont les résultats qu'on en a obtenus; tout ce que je puis dire, c'est que l'on espérait, d'après ce qui a lieu à la forge de Laufen, réduire la consommation du charbon, qui est de sapin et très-médiocre, à 10 ou 11 pieds cubes, pour 50 kil. de fer en barres. D'ailleurs, on ne comptait rien changer au travail ordinaire, qui consiste à affiner des loupes de 100 ou 120, ou même 150 kil.; l'opération dure $3\frac{1}{2}$ heures, et quelquefois 4 heures. Le déchet est toujours très-faible, comme je l'ai dit ailleurs, et seulement de 20 pour 0/0 au plus.

On sait que l'emploi de l'air chauffé a eu pour effet le plus ordinaire, dans l'affinage de la fonte, de ralentir l'opération, et quelquefois de diminuer le déchet, sans que la quantité de charbon ait été augmentée; nous avons vu que dans les essais faits dans diverses forges du Hartz, comme dans les usines royales de la Silésie prussienne, il y avait toujours eu une économie notable sur le charbon consommé pour fabriquer un quintal de fer.

Les résultats, rapportés précédemment de l'emploi de la vapeur d'eau avec l'air ordinaire, et pour concourir à l'affinage de la fonte dans un feu ordinaire à la forge de *Silberaaler-Hammer*,

montrent que ce procédé a produit une diminution sensible dans la quantité de charbon de bois qui est consommée à l'ordinaire pour fabriquer un quintal de fer, lorsqu'on ne projette que de l'air dans le creuset d'affinerie.

Malheureusement on ne trouve dans le mémoire, dont ces faits sont extraits, qu'une simple indication de nombres, sans qu'il soit fait aucune mention des circonstances dans lesquelles les essais ont eu lieu, sans aucun détail sur la manière dont ils ont été conduits, sur leur durée, etc., toutes choses que l'importance du sujet fait nécessairement désirer.

C'est en raison de cela, et pour préparer l'explication des effets que produit ou peut produire l'emploi de l'eau ou de la vapeur d'eau projetée ou introduite au milieu d'une masse de combustible en ignition, ou bien mis en contact avec un métal oxidable et plus ou moins carboné, tels que la fonte de fer, l'acier et le fer doux, que nous avons cru devoir présenter l'extrait de deux mémoires qui se rapportent à cet objet; l'un plus particulièrement à l'influence de l'eau sur la combustion du charbon ou du coke, l'autre à divers moyens de perfectionner l'affinage de la fonte et d'améliorer la qualité du fer forgé, y compris l'emploi de la vapeur d'eau.

Si les considérations exposées dans le premier de ces mémoires sont justes, si les résultats des expériences qui y sont consignées sont exacts, il s'ensuit que l'emploi de la vapeur d'eau dans les foyers de combustion, en une certaine proportion et dans des circonstances convenables, augmentera la quantité de chaleur qui s'en dégage, et contribuera à épargner le combustible dans la

production des effets calorifiques; l'eau pourra, suivant l'expression de l'auteur, être regardée comme un combustible, en raison de l'hydrogène qui entre dans sa composition, et qui s'en dégage à la suite de la décomposition qu'ei éprouve au contact d'un combustible en ignition; ainsi, dans l'opinion de l'auteur, qui sera sans doute partagée par tous, ce n'est point par l'oxygène contenu dans l'eau, et par une nouvelle combinaison de cet élément, que la chaleur peut être augmentée, mais uniquement par la combustion de l'hydrogène dégagé.

L'auteur montre comment et pourquoi il vaudra toujours mieux se servir de vapeur que d'eau liquide; enfin il indique quelques circonstances de l'emploi de l'eau et de la vapeur d'eau projetées dans les hauts-fourneaux à fer, par le métallurgiste anglais Mushet, et expose les raisons qu'il a de croire que cette application ne peut guère réussir pour produire de la fonte grise.

Dans le second mémoire, M. Engelhardt examine les moyens proposés dans ces derniers temps pour améliorer la qualité du fer pendant l'affinage, et en employant divers agents; cet examen est fait sous un point de vue assez neuf: l'auteur pense que ce sont surtout les substances gazeuses, celles que l'on peut faire dégager au milieu de la masse à purifier, et lorsqu'elles sont capables de dissoudre et d'emporter les matières nuisibles, qu'il faut faire agir pendant l'affinage et à de certaines époques de cette opération.

Jusqu'ici on avait cherché les agents de purification dans les matières oxidantes, et tâché de faire passer les substances nuisibles de la fonte dans les scories d'affinage qui sont rejetées.

Il ne repousse cependant point les agents d'oxidation, puisqu'il rapporte que le nitre a donné de bons résultats, dans certains cas.

C'est dans l'eau, mise en contact avec le métal que l'on affine, qu'il voit l'agent le plus actif et le plus utile que l'on puisse employer pour améliorer la qualité du fer, et en séparer les substances nuisibles. Il conseille la projection de l'eau liquide sur le métal, et admet que par sa décomposition au contact, l'hydrogène qui sera produit dissoudra et entraînera avec lui, et avant d'être brûlé, les substances dont il s'agit, et qui sont en effet presque toutes solubles dans ce gaz (1).

L'auteur ne s'occupe point malheureusement du déchet que produit et qu'augmentera nécessairement l'emploi fréquent et abondant de l'eau pendant l'affinage de la fonte; sans doute il pense que ce sujet ne saurait être éclairci que par des expériences faites en grand dans les forges, et il les sollicite en terminant son travail.

J'ai demandé aussi, il y a quelques années, que l'on fît des essais sur l'emploi de la vapeur d'eau pour rendre l'affinage des fontes au fourneau à réverbère plus parfait et plus économique qu'il ne l'est aujourd'hui; tous les détails qui viennent à ma connaissance, et principalement ceux qui sont contenus dans les deux mémoires que l'on va lire, concourent à me confirmer dans

---

(1) J'ai indiqué la projection de la vapeur d'eau comme moins refroidissante que l'eau liquide, à l'égard du métal, et comme pouvant agir comme agent d'oxidation par son oxygène, et comme dissolvant pour le soufre, et le phosphore par son hydrogène (*Nouveaux procédés pour fabriquer la fonte, le fer*, etc., p. 65).

les espérances que j'ai conçues d'en obtenir des résultats éminemment utiles; mais le plus difficile, sans contredit, reste à faire, ce sont les essais eux-mêmes; c'est de leur donner une bonne direction, de les rendre concluants, d'en déduire un procédé applicable, en déterminant avec soin toutes les circonstances propres à en assurer le succès; les quantités et les limites dans lesquelles il faut projeter la vapeur d'eau; la vitesse à lui donner, l'époque la plus convenable dans l'opération, la durée de son action, etc.

Le temps nous apprendra sans doute tout cela, mais c'est précisément sur lui qu'il importe de gagner des années, si cela est possible.

SUR L'EMPLOI DE LA VAPEUR D'EAU DANS LES FOYERS, POUR DIMINUER LA CONSOMMATION DU COMBUSTIBLE;

Par A. FYFE (1).

L'auteur décrit les expériences qu'il a faites pour reconnaître la nature des gaz qui sont produits par la décomposition de la vapeur d'eau opérée sur du charbon ou du coke en ignition, et il continue ainsi : Les recherches précédentes prouvent suffisamment mon opinion, que lorsqu'on fait passer de la vapeur d'eau sur des charbons de bois chauffés au rouge, il en résulte un gaz composé d'hydrogène, de carbone et d'oxygène, les deux derniers à l'état d'oxide de carbone; il donne par sa combustion de l'acide carbonique et de l'eau.

Par ce qui précède, je fus conduit à penser que, lors-

(1) Ce mémoire a été transporté du Journal d'Edimbourg dans le journal allemand de chimie de Erdmann, tome XII (1837), page 9, et traduit par M. Moyse, élève de l'école royale des mines.

qu'on amène de la vapeur d'eau sur du charbon de bois ou du coke en ignition, l'air ayant un libre accès, l'eau devait être consommée et former un gaz combustible capable d'élever la température pendant la combustion du charbon ; en un mot, que l'eau, si je puis m'exprimer ainsi, brûle, ou peut être employée avec les combustibles ordinaires et comme combustible. Pour avoir une certitude à ce sujet, je cherchai d'abord naturellement si la température s'élevait en faisant passer de la vapeur d'eau sur du coke en combustion ; à cet effet, je me suis servi d'un petit fourneau qui, à peu de distance du fond, avait une ouverture sur le côté, par laquelle j'introduisis la vapeur, au moyen d'un tube de fer communiquant avec une chaudière. Quand le fourneau fut bien attisé avec du coke, et amené à un bon état, je plaçai dessus un vase rempli d'eau et je notai le temps nécessaire pour la porter à l'ébullition. Dans toutes les recherches, je me suis servi du même vase d'eau à une même température (50° F.). Voici les résultats de quelques expériences, où le vase contenait 2 pintes d'eau :

Sans vapeur.	Avec vapeur.
En 5 minutes, 130° F.;	En 5 minutes, 120° F.;
En 10, 180;	En 10, 185;
En 15, 200;	En 13, 208;
En 20, 210.	Bouillait très-fort en 14 min.

Sans vapeur.	Avec vapeur.
En 5 minutes, 145°;	En 5 minutes, 150°;
Bouillait en 10 minutes $\frac{1}{2}$.	Bouillait en 10, en 9 minutes.

Dans d'autres recherches on se servit seulement d'une pinte d'eau :

En 3 minutes, 120°;	En 3 minutes, 140°;
En 5, 160;	En 5, 190;
En 7, 190;	Bouillait en 6 minutes $\frac{1}{6}$.
Bouillait en 8 minutes $\frac{1}{2}$.	
En 3 minutes, 140°;	En 3 minutes, 160°;
En 5, 190;	Bouillait en 5 minutes.
Bouillait en 6 minutes $\frac{1}{4}$.	

Dans de nombreuses expériences les résultats ont toujours été les mêmes ; comme l'eau a constamment bouilli plus vite quand on a fait passer de la vapeur d'eau dans le

fourneau, il est certain qu'elle élève la température du foyer. Les expériences suivantes, où l'on a mesuré la quantité d'eau vaporisée dans un temps connu, confirment ce résultat. Je me suis servi du même fourneau que précédemment, et aussi du même appareil à vapeur, mais le vase pour la vaporisation de l'eau était plus petit et contenait, pinte. Le combustible était du coke.

Sans vapeur.	Avec vapeur.
L'eau a bouilli en 2 minutes $\frac{1}{2}$; Elle a perdu 4 onces en 8 min.	A bouilli en 2 minutes $\frac{1}{4}$; A perdu 5 onces en 8 minut.

Avec une pinte d'eau.

A bouilli en 7 minutes, et perdu 4 onces $\frac{1}{2}$ en 15;	A bouilli en 5 minutes, et perdu 7 onces en 15;
A bouilli en 4 minutes, et perdu 6 onces $\frac{1}{4}$ en 12.	A bouilli en 3 minutes $\frac{3}{4}$, et perdu 7 onces $\frac{1}{4}$ en 12.

Dans toutes ees recherches, je me suis convaincu que l'air doit avoir un libre accès sur le combustible, parce qu'autrement la chaleur diminue au lieu de s'élever; quand cela n'avait pas lieu, l'eau bouillait moins vite dans le vase avec la vapeur, que sans la vapeur.

Ces recherches montrent à la vérité que la chaleur augmente pendant la combustion des charbons, quand on les fait traverser par de la vapeur d'eau; mais on pourrait se demander si l'élévation de température, produite par la vapeur, doit lui être uniquement attribuée, ou s'il n'y a pas encore une autre cause. Pour résoudre cette question, j'ai dû comparer la quantité de vapeur introduite dans le fourneau avec celle dégagée du vase. Dans une expérience où l'ébullition fut maintenue pendant dix minutes, la différence entre les quantités d'eau vaporisée monta à 2 $\frac{3}{4}$ onces, selon que l'on introduisait ou non de la vapeur dans le fourneau. La quantité de vapeur qui traversa le combustible ne fut que d'une demi-once, et par conséquent le cinquième de celle qu'elle dégage. Dans d'autres recherches la différence s'éleva à quatre fois la quantité de vapeur introduite; elle augmenta ou diminua un peu, d'après la vitesse avec laquelle l'eau bouillait dans le vase. En général, je puis dire que pour chaque once de vapeur introduite dans le fourneau, il y en a quatre d'eau vaporisée dans le vase, de plus que lorsqu'on n'en fait pas passer,

en supposant d'ailleurs qu'on l'emploie avec précaution ; car lorsqu'on en fait passer une trop grande quantité la température n'augmente pas, probablement parce que toute la vapeur ne se décompose pas et n'est pas consommée.

Il ne peut y avoir de doute sur la circonstance qui produit une élévation de température dans ces expériences ; il est évident que cela a été causé par l'inflammation du gaz, qui résulte de l'action de la vapeur d'eau sur le combustible pendant son passage à travers le fourneau, c'est précisément pour cela qu'il faut un courant d'air plus actif que lorsqu'on emploie du combustible seul. Le changement dans l'apparence du combustible montre que le gaz est véritablement brûlé, car à peine a-t-on introduit la vapeur que beaucoup de flammes s'élèvent du combustible, et qu'elles cessent instantanément quand la vapeur est éloignée. Pour rendre cette expérience frappante, il faut placer un petit fourneau, rempli de combustible sans flammes, dans une chambre obscure ; quand on introduit la vapeur par le bas du fourneau, on voit la flamme s'élever de plusieurs pouces au-dessus du combustible.

Maintenant qu'il est démontré que la température s'élève quand on fait passer de la vapeur d'eau sur du combustible, et qu'on pourra ainsi, dans certains cas, épargner du temps, il reste néanmoins un grand point à éclaircir, c'est de savoir si l'élévation de température n'est pas compensée par une plus grande consommation du combustible, ce que l'on pourrait croire à la première vue, d'après l'action que l'eau produit.

Dans ces recherches j'ai eu à lutter contre des difficultés qui m'ont presque empêché de poursuivre mes travaux, car bien que dans plusieurs cas, j'eusse tout lieu d'espérer un bon résultat, non-seulement il n'en fut pas ainsi, mais encore si je n'avais eu quelques causes de perte, j'aurais été conduit à conclure que l'on consommait plus de combustible, et que par conséquent ce procédé ne pouvait être employé avec économie.

Dans ma première expérience je trouvai que le combustible, traversé par la vapeur d'eau, n'était pas consommé plus vite que lorsqu'il brûle seul. Ainsi, dans quelques expériences où j'avais employé 32 parties de coke et entretenu la combustion pendant une heure et demie, la consommation s'éleva à $25\frac{1}{4}$ parties ; et quand je fis brûler la

même quantité de combustible, en présence de la vapeur d'eau, la consommation ne s'éleva qu'à 23 $\frac{3}{4}$. Dans d'autres recherches j'obtins des résultats semblables, la quantité de coke consommé quand on le faisait traverser par de la vapeur était tantôt un peu moindre, tantôt à peu près la même. Dans un seul cas elle fut plus grande, encore n'était-ce que du vingt-sixième de la quantité de combustible employé.

Dans ces recherches la quantité de combustible consommée se tint dans les rapports suivants :

Avec vapeur.	Sans vapeur.	Excédant.
840	970	130
4,840	5,190	350
1,330	1,370	40
1,330	1,570	240

Lie-t-on maintenant ces faits avec les résultats des recherches sur les quantités d'eau vaporisée dans un temps connu, et qui, comme nous l'avons vu, sont plus grandes par l'emploi de la vapeur d'eau que sans elle, on a tout lieu d'espérer que son emploi sera avantageux ; mais quand je comparai les quantités réelles d'eau vaporisée avec le combustible employé, je trouvai aussitôt que parfois elle n'était pas plus grande, et que dans beaucoup de cas elle était moindre. Cela me fit conjecturer qu'il y avait une source d'erreur, et comme je répétai ces expériences très-souvent et de toutes les manières possibles, je trouvai que, vers la fin de l'opération, lorsque le combustible est près d'être épuisé, la température diminue progressivement, et que la vapeur paraît échapper à la décomposition. J'employai alors une autre méthode qui me donna des résultats tels que je les désirais. Je ne laissai pas l'opération aller aussi loin que précédemment, et je maintins le fourneau dans une bonne allure, tandis que précédemment le combustible s'était presque entièrement consumé, et que par conséquent la température diminuait vers la fin. En opérant ainsi, j'ai trouvé, à bien peu d'exceptions près, que la consommation en combustible était plutôt moindre par l'emploi de la vapeur que sans elle, en même temps qu'il se vaporisait plus d'eau dans le vase.

Il m'est venu aussi dans l'idée que l'accroissement de température, lorsqu'on fait passer de la vapeur d'eau à travers le combustible, pourrait provenir en grande partie

et même uniquement de ce qu'elle fait fonction de machine soufflante, quand elle entraîne de l'air avec elle dans le fourneau. Je me suis assuré, par beaucoup de recherches, qu'il n'en était pas ainsi, en introduisant la vapeur dans le fourneau de différentes manières, et surtout en lutant avec soin le tube de dégagement de la vapeur, sur le côté du fourneau, afin que de l'air ne puisse être entraîné avec la vapeur; dans tous ces cas la température fut également élevée. En outre, j'ai toujours trouvé que, lorsqu'on introduit la vapeur avec une grande vitesse, la chaleur est de beaucoup moins forte que lorsqu'elle afflue lentement. Il est évident que ce serait le contraire si la vapeur agissait seulement comme machine soufflante.

Les recherches communiquées jusqu'à présent sont suffisantes, à mon avis, pour montrer que la chaleur est considérablement augmentée, quand de la vapeur d'eau traverse le combustible, sans que pour cela on en consomme une plus grande quantité; ce qui prouve que l'action de l'eau pendant qu'elle traverse le combustible, n'agit pas seulement comme une machine soufflante, mais qu'elle est réellement brûlée, et qu'elle se change en gaz combustibles, qui sont alors employés.

On pourrait alors objecter en tout cas, contre l'emploi de la vapeur d'eau, qu'il faut consommer une certaine quantité de combustible, pour transformer l'eau en vapeur. Cela arrivera dans beaucoup de cas; on pourra toutefois généralement se servir de la chaleur du fourneau, sans qu'on ait besoin de brûler du combustible uniquement destiné à former de la vapeur. Quand cela ne sera pas possible, l'élévation de température compensera et au-delà les dépenses faites pour transformer de l'eau en vapeur. Mais on pourrait demander pourquoi on n'emploie pas l'eau en nature? La réponse est facile, car au moment où elle touchera le combustible, elle lui enlèvera, non-seulement une partie de son calorique, si ce n'est la totalité en abaissant sa température; mais elle pourra encore, au moment où elle se change en vapeur, n'agir qu'imparfaitement sur le combustible et par conséquent n'être brûlée qu'en partie. C'est pour cela qu'a échoué le procédé recommandé dans plusieurs fabriques de gaz pour élever la température, et qui consistait à faire couler un filet mince d'eau mélangée de goudron sur le combustible. L'eau a, dans ce cas, un autre but que dans le procédé que j'ai

proposé, car elle sert à donner de l'oxygène pour brûler le goudron; comme je l'ai déjà dit, il n'est nullement vraisemblable que la température soit élevée de la plus petite quantité par cette circonstance, car même, en supposant que l'oxygène de l'eau agisse sur la matière combustible, il faut néanmoins, pendant qu'il forme de l'oxide de carbone, qu'il se change en gaz en absorbant du calorique, qu'il conserve à l'état latent; tandis que, lorsqu'on emploie de la vapeur d'eau cette chaleur latente est déjà acquise; en supposant que l'air ait un libre accès, par la décomposition de la vapeur il se forme de l'oxide de carbone et de l'hydrogène, qui sont brûlés en traversant le fourneau, et ainsi ils peuvent produire de la chaleur.

Je ne connais qu'un seul cas où la vapeur ait été amenée en contact avec le combustible dans un but déterminé, et ce fut par M. Mushet, aux forges de Clyde. Il en est question dans le magasin de Tilloch, où il parle de différentes méthodes pour se procurer des souffleries alimentant des hauts-fourneaux, et d'une entre autres qui consiste à introduire l'air au moyen d'une pompe dans une caisse renversée sur l'eau, de manière à saturer cet air complétement d'humidité. Quoiqu'on ait ainsi un courant d'air frais continu, cette méthode, d'après Mushet, n'est cependant pas à recommander, car il paraîtrait que la quantité de vapeur que l'air entraîne élève tellement la température à la tuyère, que l'argile la plus réfractaire entre en fusion, et que par suite les côtés du fourneau peuvent se détériorer. Quoiqu'il avance ce fait, que la chaleur est augmentée dans le fourneau par un courant d'air saturé d'humidité, il explique néanmoins cette circonstance que les hauts-fourneaux ne donnent pas d'aussi bonne fonte pendant l'été que pendant l'hiver, précisément par l'état hygrométrique de l'air; car il dit qu'en été l'air n'est pas aussi propre à la combustion que pendant l'hiver, parce qu'il contient plus d'humidité. Par l'état hygrométrique de l'air on peut encore, d'après Mushet, expliquer ce fait remarquable, que la fonte s'empare en été d'une moindre quantité de carbone qu'en hiver, même quand la réduction se fait par une plus grande quantité de combustible; l'air projeté contient évidemment moins d'oxygène, et cependant le métal renferme moins de carbone que pendant l'hiver; c'est qu'une partie du carbone est entraînée par l'hydrogène de l'eau. Cela engagea

quelqu'un à essayer l'introduction de l'eau en vapeur dans les hauts-fourneaux, dans l'espérance que la combustion serait plus complète. Cet essai ne réussit pas, parce que, à l'endroit où la vapeur était introduite, la matière qui formait le fourneau, successivement refroidie et réchauffée par la haute température produite, fut amollie. L'usage de la vapeur d'eau, dans ce cas, était tout autre que celui pour lequel je l'ai proposée. Selon moi, quand on introduit de la vapeur d'eau d'une manière convenable dans le fourneau, la température est élevée par la combustion de son hydrogène; tandis que, dans le cas précédent, on a cru que l'eau produisait cet effet par l'action de son oxygène sur le combustible, ce que M. Mushet avance en propres termes; car il dit que la décomposition de ce liquide, donnant une plus grande quantité d'oxygène, augmente les effets de la combustion.

Dans sa dissertation, M. Mushet n'admet nullement que la somme totale de chaleur soit augmentée de la plus faible quantité dans le fourneau, mais qu'elle croît à l'endroit où la vapeur se décompose. Il pense que l'eau, qui a absorbé de la chaleur au bas du fourneau, la restituera en montant en même temps que celle contenue dans son oxygène devenu libre, de manière que la chaleur est seulement transportée dans le fourneau d'une place à une autre, et qu'ainsi, en définitive, la somme totale de chaleur n'est nullement augmentée dans le fourneau. Je ne suis pas ici du même avis que M. Mushet, car je crois avoir établi, par les recherches mentionnées ci-dessus, que, tout compté, la chaleur est réellement augmentée par l'introduction de la vapeur.

Que la vapeur d'eau agisse réellement dans les hauts-fourneaux, principalement en enlevant le carbone ou non, je regarde néanmoins le rapport de M. Mushet comme important, parce qu'il confirme ce que j'ai dit précédemment, que l'eau ne peut être employée dans le but de fournir de l'oxygène aux matières combustibles; car au contraire l'air, ou en d'autres termes l'oxygène, doit être introduit en plus grande quantité avec la vapeur, pour qu'on puisse obtenir la combustion des produits combustibles venant de la décomposition de l'eau. C'est pour cela que, dans le cas où j'introduisis une trop grande quantité de vapeur sans augmenter la proportion de l'air, la température diminua au lieu de s'élever.

J'ai fait aussi quelques recherches avec de la vapeur très-comprimée; elle pénétra naturellement dans le fourneau avec une grande force. Le résultat fut que, près du point d'introduction de la vapeur, la température diminua, et que le combustible s'éteignit presque. Je ne recherchai pas alors si, en montant dans le fourneau, la vapeur se décompose et y brûle; mais cela arrive très-probablement quand la température est assez élevée et le courant d'air assez fort. Cette même vapeur éteignit presque complétement une bassinoire (Warmbecken) remplie de coke; on devait s'y attendre, car la température n'était pas assez élevée pour la décomposition de la vapeur, et par conséquent pour brûler les produits gazeux combustibles.

D'après les résultats que j'ai obtenus, il serait à désirer que dans les usines où l'on consomme une grande masse de combustible, on fît des essais en grand pour savoir jusqu'à quel point l'emploi de la vapeur d'eau peut épargner du combustible. Je conseille pour cela d'introduire de la vapeur à la pression ordinaire dans différentes parties du fourneau, et de donner également assez de vent. Si ce procédé était susceptible d'une application avantageuse, il faudrait aussi rechercher s'il ne serait pas bon de faire passer la vapeur dans des tubes scellés dans le mur du fourneau, afin d'élever sa température avant qu'elle n'arrive en contact avec le combustible, absolument comme dans la méthode de Neilson (suivie actuellement dans toutes les forges de l'Angleterre), par laquelle on chauffe l'air pour les hauts-fourneaux.

Sur une fabrication meilleure et plus rationnelle du fer doux; explication du procédé usité dans les fourneaux de puddlage, par la méthode de Schafhautel.

Par M. ENGELHARDT, Directeur des mines (1).

Le fer, qui par ses emplois si variés porta les peuples à un point de civilisation parfois si élevé, méritait d'être soumis à un examen plus attentif que celui qui lui a été

(1) Traduit par M. Moyse, élève à l'École royale des mines. (*Journal de chimie pratique* de Erdmann, tom. XII, 1837, p. 1.)

accordé jusqu'ici. On devait surtout s'occuper d'une manière plus rationnelle de la production d'un fer doux de bonne qualité. Récemment, on a fait connaître quelques moyens de produire de bon fer avec une mauvaise fonte, soit dans un four à puddler, soit dans des feux d'affinerie; mais on vit que ces méthodes ne répondaient pas entièrement à leur but. Schafhautel, de Munich, obtint en Angleterre une patente pour une amélioration certaine du fer pendant l'affinage. D'après son rapport, on devait pouvoir retirer de bon fer en affinant la plus mauvaise fonte. Plusieurs métallurgistes achetèrent ce secret, qui plus tard fut publié, et le mirent en usage dans leurs fourneaux de puddlage. Dans quelques usines, par l'emploi de cette méthode, le fer s'améliora notablement; mais dans d'autres on n'obtint pas un grand changement. Il n'en pouvait pas être autrement par ce procédé, puisqu'on employait toujours la même quantité de cet agent avec des fontes de diverses qualités; il est dans la nature de la chose qu'il en faille davantage pour les mauvaises que pour les meilleures. Nous allons examiner avec quelques détails la méthode de Schafhautel, et tâcher de reconnaître jusqu'à quel point les matières qu'il emploie peuvent agir sur la masse à affiner, à la température des fourneaux de puddlage : nous verrons se confirmer ce principe, que pour obtenir de bon fer, et en même quantité, avec des fontes de diverses qualités, il faut employer des proportions différentes des matières destinées à accomplir la purification du métal. On a pris 1 liv. $\frac{3}{4}$ d'oxide noir de manganèse, 3 liv. $\frac{3}{4}$ de sel marin, et 10 onces d'argile à potier; ces matières, qui doivent être parfaitement sèches et pures, ont été porphyrisées et mélangées bien intimement. D'autre part, on a fondu dans un fourneau à puddler 3 quintaux $\frac{3}{4}$ de fonte, avec la quantité de laitier ordinaire; le feu fut conduit de manière que la flamme, en passant sur le bain, était transparente et bien pure, et permettait d'apercevoir le métal pendant l'opération. Le mélange précédent, préalablement échauffé fut porté dans le bain métallique, en 12 portions d'une $\frac{1}{2}$ livre, et à un intervalle de 1 à 2 minutes l'une de l'autre, pendant un brassage continuel de la fonte; on avait façonné une pelle pour cet usage.

Le chlorure de sodium et l'argile sont les éléments essentiels de l'opération, tandis que le peroxide de manganèse ne sert qu'à soulever la masse liquide de fer, et à présenter

au gaz qui se dégage, un plus grand nombre de points de contact.

Nous savons que le sel marin se fond au rouge, et se volatilise à une plus haute température ; mais si on le soumet à une forte chaleur, après l'avoir mélangé avec de l'argile, il se décompose, la soude se combine avec l'alumine et la silice de l'argile. Le chlore est mis par suite en liberté, il s'empare du soufre, du phosphore et de l'arsenic qui se trouvent dans la fonte, et donne lieu à des combinaisons volatiles à la température des fourneaux de puddlage; mais pour que le chlore ait un grand nombre de points de contact avec la masse liquide, la présence de l'oxide de manganèse est nécessaire. Pendant que celui-ci à l'état de peroxide est brassé dans le bain métallique avec le sel marin et l'argile, il laisse dégager une partie de son oxygène et forme du deutoxide, qui plus tard perd une nouvelle partie de son oxygène, se change en oxidule de manganèse, et ce dernier se combine avec les scories. L'oxygène mis à nu se combine avec le carbone de la fonte, il se forme de l'oxide de carbone, ce qui produit une écume et un bouillonnement dans la masse liquide de fer ; il en résulte que le chlore est mis en contact avec presque tous les points du bain métallique. Une partie de l'oxygène doit servir à brûler le carbone entraîné du foyer dans un état de division extrême, et qui forme la fumée ; car par ce procédé, non seulement il n'y a pas de fumée dans les ateliers, mais on n'en voit même que bien rarement sortir de la cheminée.

Nous voyons maintenant que l'amélioration du fer doit être uniquement attribuée au chlore qui se dégage du chlorure de sodium, et qui se combine avec les principes nuisibles. Nous pouvons en même temps tirer cette conséquence, que la quantité de chlore doit être proportionnelle à la quantité des matières qu'il faut séparer ; et que, pour arriver entièrement à son but, il faut employer différentes proportions de mélange, pour des fontes de diverses espèces.

Dans sa traduction de la Chimie appliquée de Dumas, M. le docteur Engelhard proposa, à l'article *affinage*, l'emploi du salpêtre ; celui-ci, comme l'indique la théorie, oxidera, de préférence au fer, le soufre, l'arsenic, le phosphore, toutes substances si nuisibles à la qualité du fer ; il se formera du sulfate, de l'arseniate et du phosphate de potasse ; car l'emploi d'une base aussi puissante que cette dernière, déterminera très-facilement l'acidification de ces

substances; comme d'un autre côté, par exemple, la présence de la silice favorise l'oxidation du fer. D'après cette indication, 2 quintaux $\frac{3}{4}$ de mauvaise fonte phosphoreuse et sulfureuse furent traités avec 1 livre de nitre divisée en 3 parties égales, dont l'une fut ajoutée au premier brassage de la fonte (*Roh auf brechen*); une autre au deuxième brassage; la troisième à la dernière période de l'affinage (*Gaar auf brechen*).

A chaque addition du nitre, le charbon fut tenu éloigné avec soin, pour que cet agent ne se trouvât en contact qu'avec la fonte. On s'assura que le fer était d'une bien meilleure qualité qu'à l'ordinaire.

Cette expérience fut répétée dans différentes usines; mais, comme on aurait pu le prévoir, on ne remarqua pas d'amélioration sensible du fer dans la plupart des cas. En effet, on conçoit que, pour séparer des éléments nuisibles qui sont si intimement unis à la fonte, il faut que les agents que l'on emploie soient mis en contact même avec les plus petites parties de la masse à affiner. Or, par l'emploi du nitre dans un feu d'affinerie, cela n'est pas possible; car, outre que l'on ne peut travailler dans le creuset comme dans un fourneau à puddler, le salpêtre, par sa pesanteur spécifique moindre que celle de la fonte, demeure à la surface du bain, se combine avec les scories et devient inerte. Veut-on séparer le soufre, le phosphore et l'arsenic de la masse de fonte par le procédé d'affinage? il faut que les agents ou leurs combinaisons soient à un état de division tel, qu'ils couvrent toute la surface du bain métallique, afin qu'ils puissent rencontrer à chaque brassage les principes nuisibles aussi très-divisés, et s'unir avec eux. Il faut, d'ailleurs, n'employer que des agents formant des combinaisons volatiles avec ces mêmes substances. Ce seraient d'après cela les gaz seuls qui pourraient produire de bon fer avec de mauvaises fontes. On augmenterait beaucoup leur puissant effet en choisissant des matières qui, par leurs propriétés électriques et physiques, aient une grande affinité pour les principes nuisibles de la fonte. Comme nous l'avons vu plus haut, c'est le chlore qui remplit ce but dans la méthode de Schafhautel; mais ce gaz n'a pas pour l'arsenic, le soufre et le phosphore, une affinité aussi énergique que beaucoup d'autres; et à la température des fourneaux de puddlage, il en a au contraire une grande pour le carbone; enfin il forme avec le fer une combinaison

volatile, de sorte que son emploi en grand peut produire un effet défavorable sur la production du fer. Si nous parcourons la série des gaz, nous voyons que c'est l'hydrogène dont l'emploi peut être le plus efficace pour l'amélioration du fer.

Le gaz hydrogène, comme élément électro-positif, possède une grande affinité pour le soufre, le phosphore et l'arsenic, avec lesquels il forme de l'hydrogène sulfuré, phosphoré, arsenié. D'après cela c'est l'hydrogène qui, dans l'état actuel de la science, nous met à même d'obtenir d'une mauvaise fonte, un fer entièrement bon. Il pourra paraître au premier abord impossible de mettre l'hydrogène dans un contact bien intime avec la masse de fonte ; mais cette impossibilité disparaît, puisque l'hydrogène doit se former par la décomposition de l'eau sur la masse liquide de fonte, ce qui est très-facile, non-seulement dans un fourneau à puddler, mais aussi dans les feux d'affinerie ordinaires. Nous savons que le fer possède la propriété de décomposer, à la chaleur rouge, l'eau en ses deux éléments ; car si nous faisons passer dans un canon de fusil, rempli de fils de fer et chauffé au rouge, de la vapeur d'eau, l'oxygène de l'eau se porte sur le fer qu'il oxide, et l'hydrogène est mis à nu. Jette-t-on de l'eau sur la masse de fonte à affiner, elle se décompose très-facilement ; l'hydrogène mis en liberté se combine en partie avec le soufre, le phosphore et l'arsenic de la fonte, et forme de l'hydrogène sulfuré, phosphoré et arsenié. S'il y a du gaz en excès, il se combinera avec le carbone de la fonte pour former de l'hydrogène carboné. Les gaz volatils et combustibles, ainsi formés, se dégagent par la cheminée, dans l'atmosphère. L'oxygène, de son côté, se combinera en partie avec le carbone de la fonte, et en partie avec celui entraîné du foyer ; il se formera de l'acide carbonique et de l'oxide de carbone. Comme on voit, les substances nuisibles contenues dans la fonte formeront, par la décomposition de l'eau, des combinaisons volatiles qui seront emportées dans la cheminée par le courant rapide du fourneau. Si maintenant, par la réunion des différents gaz dans le foyer, il arrivait de nouvelles décompositions, les matières nuisibles, mêlées à l'état solide et très-divisées, seraient toujours entraînées par le fort courant d'air, ou oxidées par l'oxygène de l'air atmosphérique qui afflue par les ouvertures du fourneau, et s'en iraient de nouveau à l'état de gaz.

Il résulte, de ce qui précède, que l'on peut attendre de la décomposition de l'eau sur la masse à puddler de très-grands avantages; car, outre que les principes qui accompagnent la fonte, et qui ont un effet si nuisible sur le fer seront entraînés, pour la plus grande partie, le procédé d'affinage sera beaucoup abrégé, et par-là on épargnera du temps et du combustible. Par la décomposition de l'eau, la chaleur s'élève dans le fourneau de puddlage, au point que la flamme monte très-haut dans la cheminée, et sort au loin par les portes de travail.

On pourrait employer l'eau dans les feux d'affinerie en même proportion que dans les fours à puddler, seulement il y aurait moins d'avantage. Pour la faire arriver sur la masse de fonte, on emploierait une petite pompe mise en mouvement par le jeu des soufflets; et tandis que dans les fourneaux de puddlage elle est introduite par la porte de travail, on l'injecterait ici par la tuyère ou au-dessous, en petite quantité à la fois.

Quoi qu'il en soit, l'emploi de l'eau pour l'amélioration de la fonte est, comme nous l'avons déjà remarqué, plus efficace et plus facile dans les fourneaux de puddlage que dans les feux d'affinerie; car, dans le premier cas, l'eau que l'on jette de temps temps sur la masse de fonte continuellement brassée, rencontre toujours une nouvelle surface sur laquelle l'hydrogène peut agir.

Quelques métallurgistes pourraient croire que ce que nous venons de dire n'est bon qu'en théorie, et impossible en pratique. Quelques personnes penseront aussi que l'eau, à la température élevée du fourneau de puddlage, se vaporisera si vite, qu'elle ne pourra venir en contact avec la fonte qu'en très-petite quantité ou même pas du tout. Pour répondre aux deux objections, je veux rapporter ici quelques expériences relatives à ce sujet :

1° Quant à ce qui concerne la prompte transformation en vapeurs, nous savons que l'eau jetée sur des plaques de fer chauffées au rouge, se vaporise moins vite que lorsque la température est moins élevée; il est donc évident que notre procédé ne favorise pas la prompte vaporisation de l'eau;

2° Il est connu depuis longtemps de tous les métallurgistes, que lorsqu'on verse de l'eau sur des laitiers de haut-fourneau provenant de minerais pyriteux, il se dégage de l'hydrogène sulfuré que l'on reconnaît à son odeur. Il pro-

vient de ce que l'eau, en contact avec les scories contenant encore des sulfures métalliques, est décomposée, et que son hydrogène s'empare du soufre;

3° Une odeur d'hydrogène arsenié se fait également sentir, quand on verse de l'eau sur des scories provenant de minerais qui contiennent de l'arsenic;

4° Les puddleurs connaissent déjà le grand avantage qui résulte de l'addition de l'eau sur la masse à affiner. A la vérité ils ne connaissent pas la cause de cet effet favorable; mais ils assurent que le fer qui en résulte est meilleur, que le travail est abrégé et le combustible épargné. Nous voyons souvent que lorsqu'un puddleur mal exercé laisse sur la sole un fer dont l'affinage est manqué, il complète l'opération par une copieuse addition d'eau et de scories riches d'affinage. Il l'emploie également dans une mauvaise allure (Rohgange) pour produire plus promptement la bonne allure (Gaargange).

L'époque la plus favorable pour l'injection de l'eau dans le fourneau à puddler est l'instant où la flamme bleue-claire de l'oxide de carbone disparaît de plus en plus, et lorsque la masse commence à prendre de la consistance, à se dégager des scories sous forme de choux-fleurs, et à devenir si fragile qu'elle tombe en sable. Dans cette période où un brassage continuel est nécessaire, l'addition de l'eau doit certainement produire le meilleur effet, en chassant les matières nuisibles si intimement unies au fer.

On pourrait, au reste, imaginer plusieurs moyens par lesquels l'eau s'injecterait d'elle-même dans le fourneau de puddlage en quantité voulue. Une caisse en fer, placée convenablement au-dessus de la sole, et d'où l'eau s'écoulerait par un assemblage de tuyaux serait ce qu'il y aurait de mieux. De l'eau suffisamment chaude ne pourra que produire un bon effet. On remédiera à la dégradation du fourneau, causée par l'eau introduite, en changeant un peu sa construction; mais ce n'est pas là le point le plus important. La consommation toujours croissante du fer doit engager chaque métallurgiste à le produire aussi bon que possible, avec les mauvaises fontes. Je ne doute pas que les usines qui prendront cet avis à cœur ne puissent en grande partie, par des tentatives réitérées, obtenir, par l'emploi de l'eau, un fer de qualité supérieure.

TABLE

DES DIVERS PARAGRAPHES DU MÉMOIRE INTITULÉ :

DE L'ÉTAT DE LA FABRICATION DU FER,

ET DE L'AVENIR DES FORGES EN FRANCE, ET SUR LE CONTINENT DE L'EUROPE.

FIN DE LA TABLE.

EXPLICATION DES PLANCHES I et II.

PLANCHE I.

Figures 1, 2 et 3.

Feu d'affinerie de Bondreville.

a Creuset d'affinage.
b b Voûte.
c c Cheminée.
d Ouverture par laquelle l'affineur travaille dans le creuset.

Figures 4, 5, 6, 7 et 8.

Deux feux d'affinerie accolés, tels qu'on les a construits, en 1837, à Albrück et à Hausen.

a Creuset d'affinerie.
b Tuyère.
c Caisse à chauffer l'air.
d d Sole sur laquelle on réchauffe la fonte à affiner et le fer à étirer.
e e Voûte qui recouvre et le foyer, et la sole *d d*.
f f Cheminée ou sortie des flammes qui ont passé sur la sole.
h, h Portes du four à réchauffer, dit *glühofen*.

La figure 8 représente la caisse en fonte où l'air circule et s'échauffe avant d'arriver à la tuyère ; la représentation en est figurative et faite de mémoire.

PLANCHE II.

Feu d'affinerie de Laufen.

a Creuset d'affinerie.
b Tuyère.
c Sole du four à réchauffer.

d, d Portes du four.
e Buse.
f f Appareil à chauffer l'air.
g, g Portes pour pénétrer dans l'intérieur de la cheminée.
h Cheminée.

PARIS. — Imprimerie et Fonderie de FAIN,
rue Racine, 4, place de l'Odéon

TABLE

DES DIVERS PARAGRAPHES DU MÉMOIRE INTITULÉ :

DE L'ÉTAT DE LA FABRICATION DU FER, ET DE L'AVENIR DES FORGES EN FRANCE, ET SUR LE CONTINENT DE L'EUROPE.

FIN DE LA TABLE.

Feu d'affinerie (double)
avec four à réchauffer le fer (Glühofen) et appareil à chauffer l'air,
en construction dans les forges du Grand Duc de Bade en 1837
à Hausen et Albrück.

Fig. 5.
Coupe verticale suivant E F de Fig. 4.

Fig. 6.
Elévation suivant G H de Fig. 4.

Fig. 4.
Coupe horizontale suivant A B C D.

0 1 2 3 4 mètres.

Fig. 7.
Elévation suivant H K de Fig. 4.

Fig. 8.
Coupe suivant A B.
Coupe suivant C D.
Coupe suivant E F.

Feu d'affinerie recouvert d'une voûte
de Bondreville (Côte d'or)
1837.

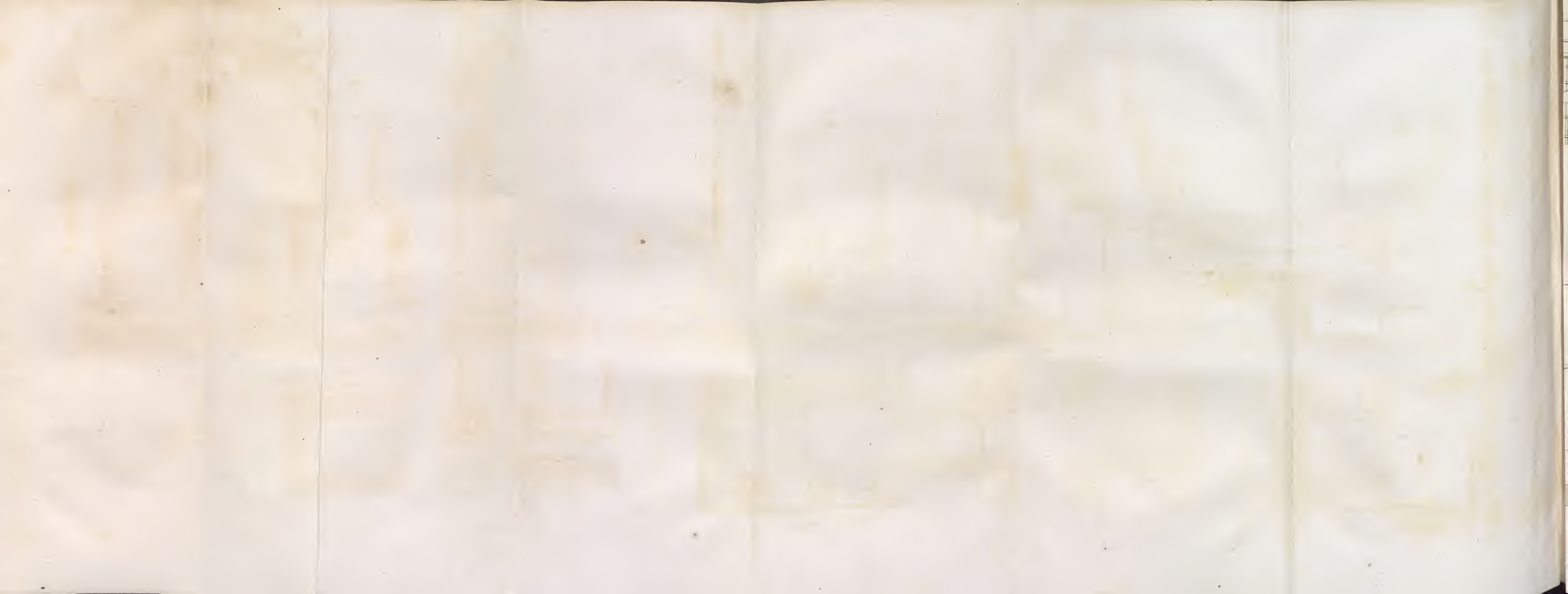
Fig. 1.
Coupe verticale de la rustine au chio.

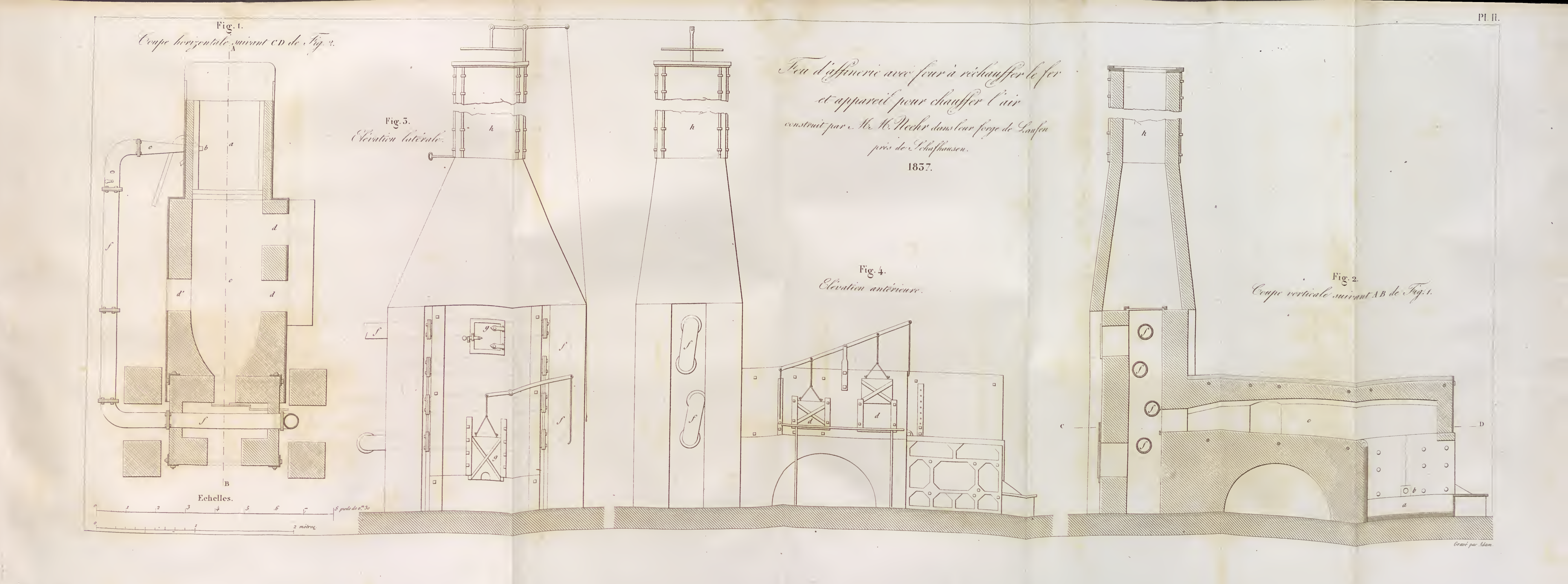
Fig. 2.
Coupe verticale de la tuyère au contrevent.

Fig. 3.
Coupe horizontale suivant A B.

Echelle
0 2 mètres

Gravé par Adam




Pl. II.
Feu d'affinerie avec four à réchauffer le fer
et appareil pour chauffer l'air
construit par M. M. Neher dans leur forge de Laufen
près de Schafhausen.
1837.
Fig. 1.
Coupe horizontale suivant CD de Fig. 2.
Fig. 3.
Elévation latérale.
Fig. 4.
Elévation antérieure.
Fig. 2.
Coupe verticale suivant AB de Fig. 1.
Echelles.
2 mètres
Gravé par Adam.